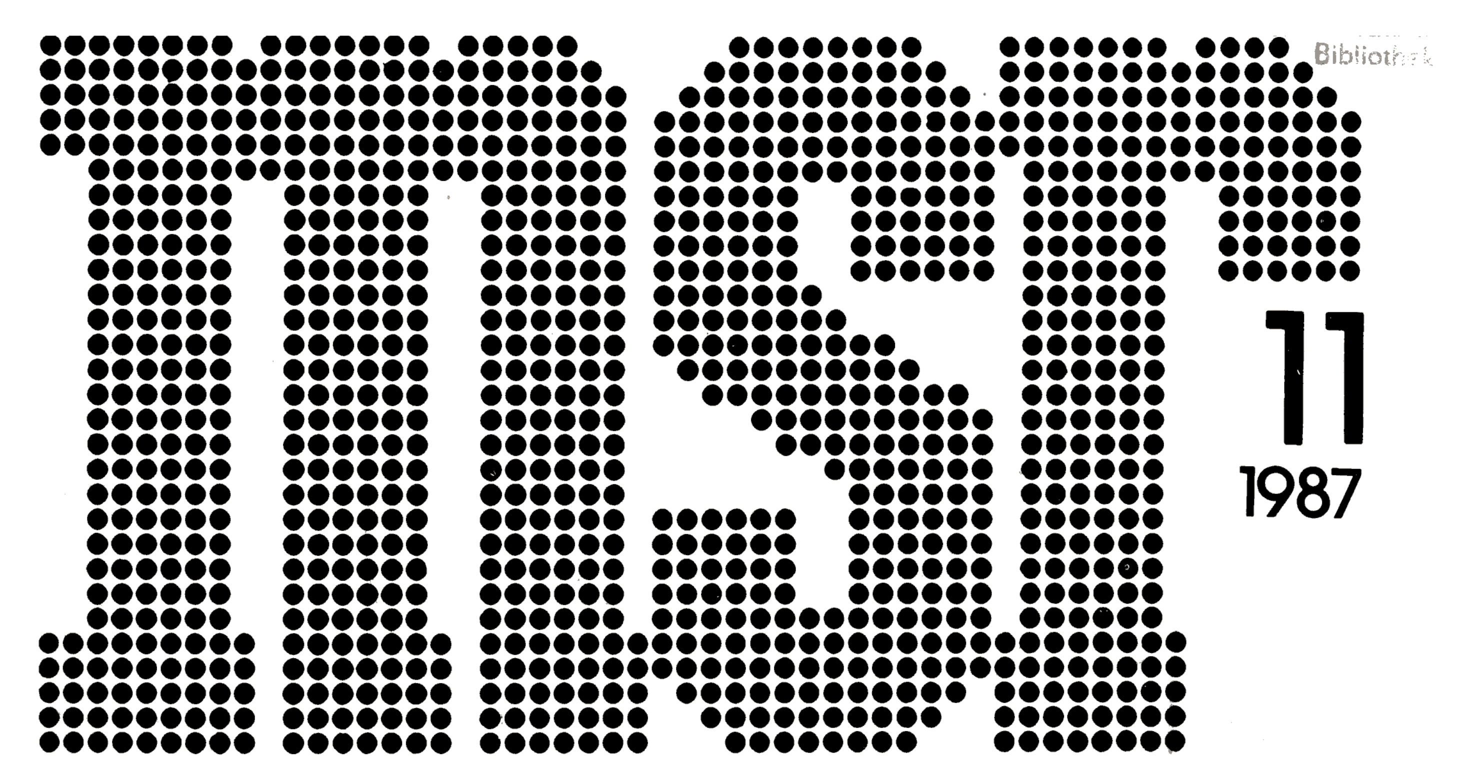


messen · steuern · regeln



VEB
Verlag Technik
Berlin
EVP: 4,- M

Jubiläen

Wir leben in einem Zeitalter, das an Jubiläen unterschiedlichster Natur nicht arm ist. Denken wir nur daran, daß Berlin 1987 ein Jahr lang seinen 750. Geburtstag feiert — ein Anlaß, der vieles und viele in unserem Land bewegt hat. In diesem Monat gedenken wir des 70. Jahrestages der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution als einem Ereignis von prägender Bedeutung für die Menschheit im 20. Jahrhundert und darüber hinaus. Einige weiterführende Aussagen dazu finden Sie in unseren Beiträgen auf den Seiten 518—521 dieses Heftes.

In diesem Rahmen nimmt sich natürlich ein „kleines" Jubiläum, wie das Erscheinen des 30. Jahrganges der msr, bescheiden aus. Und doch soll es nicht ganz unerwähnt bleiben, sollen dazu einige Gedanken, Reminiszenzen wie Ausblicke, aus der Sicht der Redaktion geäußert werden.

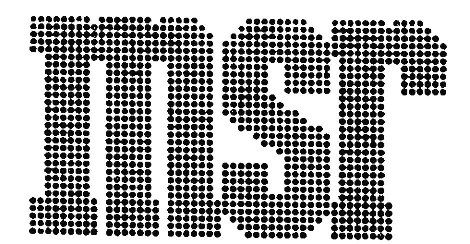
Es ist wohl kein Zufall, daß es in der zweiten Hälfte der 50er Jahre zur Gründung einer Fachzeitschrift für die Meß-, Steuer- und Regelungstechnik in der DDR kam. Im sechsten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts gab es weltweit einen besonderen „Schub" dieser aufkeimenden jungen Wissenschaft und ihrer technischen Umsetzung, der sich natürlich auch in unserem Lande widerspiegelte. Ausdruck dessen waren die Gründung des ersten Lehrstuhls für Regelungstechnik im deutschsprachigen Raum an der TU Dresden (1955), oder die der ersten „Arbeitsstelle für Regelungs- und Steuerungstechnik" an der Akademie der Wissenschaften in Dresden (1957, also auch vor 30 Jahren), heute ein Institutsteil des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR. Beide Einrichtungen wurden seinerzeit von Prof. *H. Kindler* gegründet und geleitet, der auch von Anfang an Redaktionsbeiratsmitglied der msr war. Erschien die msr 1957 nur als Beilage zum „Industriebetrieb", so präsentierte sie sich dann ab 1958 als eigenständige Zeitschrift. Es ist schon interessant, in den älteren Jahrgängen der Zeitschrift zu blättern und sich über die zahlreichen inhaltlichen und äußerlichen Veränderungen zu informieren. Welche Entwicklung ist zu registrieren, wenn man bedenkt, daß vor 30 Jahren vorrangig der einschleifige kontinuierliche Regelkreis und seine Bauglieder Untersuchungsgegenstände waren? Kaum jemand konnte damals für 1987 große Systeme, hierarchische Steuerungen, „intelligente" Meß- und Stellglieder, Industrieroboter, CAD-, CAM- und CIM-Projekte oder Expertensysteme prognostizieren oder zu einer Zeit, da ganz vorsichtig erste elektrische Rechenmaschinen auf Relais- und Ferritkernbasis entstanden, an die 3., 4. oder gar 5. Computergeneration denken. Das sind gewaltige Fortschritte, die den Verlauf dieser 30 Jahre kennzeichnen!

Die msr als wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Meß- und Automatisierungstechnik in der DDR hat sich stets darum bemüht, neue Forschungs- und Entwicklungsergebnisse des Fachgebietes durch eine solide und möglichst rasche Publikation zu fördern. Viele haben bei der Umsetzung dieser Bemühungen mitgeholfen — die Autoren in erster Linie, der Redaktionsbeirat und der Herausgeber (die WGMA) in mannigfaltiger Weise, Leser durch gezielte Hinweise, der Verlag durch fördernde Maßnahmen. Allen gilt unser herzlicher Dank.

Doch es ist und bleibt natürlich unser Ziel, die msr immer attraktiver zu machen, neue Leser und Autoren zu gewinnen, die Qualität, den Informationsgehalt und die Aussagefähigkeit der Beiträge (und damit den Nutzen für den Leser) zu erhöhen. Welche (realisierbaren) Möglichkeiten sieht dazu die Redaktion? Wir möchten gern erreichen, daß unter den Automatisierungstechnikern und Prozeßmeßtechnikern in der DDR (und durchaus auch darüber hinaus) das Selbstverständnis wächst, daß die msr das geeignete Publikationsorgan für sie ist. Dazu gilt es, das Profil der Zeitschrift immer wieder klar abzustecken. Eine Maßnahme hierfür sehen wir in Schwerpunktheften (2 bis 4 in jedem Jahr), die konzentriert über ein aktuelles Forschungsgebiet berichten. Sehr wichtig ist nach unserer Auffassung auch, daß die Kontakte der Redaktion zur einschlägigen Industrie vertieft werden, um deren Repräsentanz in der Zeitschrift zu erhöhen. Es wäre aus unserer Sicht sehr wünschenswert, wenn im Bewußtsein der Fachkollegen, besonders in der Industrie, der Stellenwert einer Veröffentlichung angehoben würde. Fördernde Maßnahmen, mindestens aber die moralische Unterstützung der jeweiligen staatlichen Leiter könnten dabei sehr hilfreich sein.

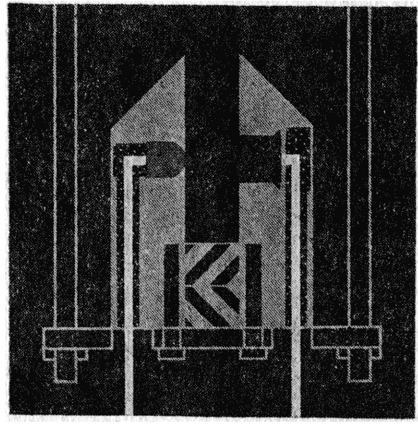
Verehrte Leser, wie Sie sehen, verbinden wir die Würdigung des „kleinen" Jubiläums — 30. Jahrgang der Zeitschrift „messen—steuern—regeln" — mit der Bitte an Sie, uns in unserer Arbeit, in unserem Ringen um hohen Informationsgehalt, Aktualität und ansprechende äußere Gestaltung zu unterstützen. Schreiben Sie uns, rufen Sie uns an! Wir sind für konstruktive Hinweise und Ratschläge stets aufgeschlossen. Möge unser gemeinsames Bemühen dazu führen, daß auch künftig „kleine" Jubiläen ein würdiger Baustein für die großen, gesellschaftsumspannenden sind.

Dr.-Ing. *Dietrich Werner*,
Verantwortlicher Redakteur der msr



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik

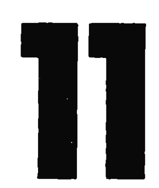


Für die optimale Steuerung zahlreicher Prozesse in der chemisch-verfahrenstechnischen Industrie, der Pharmazie, der Biotechnologie usw. sind ständige Messungen grobdisperser Stoffsystemparameter notwendig. Eine Möglichkeit hierzu bietet der in unserem Titelbild dargestellte Sensor. Näheres zu dieser Thematik vermittelt der Beitrag auf S. 500 dieses Heftes.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT



30. Jahrgang
November 1987

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

T. Missala

Stand und Tendenzen der Automatisierungstechnik der VR Polen[1]

0. Einleitung

Der Beitrag stellt ausgewählte Gerätesysteme der Automatisierungstechnik aus der VR Polen vor, insbesondere Meßumformer, elektrische Stellantriebe, speicherprogrammierbare Steuerungen, die Automatisierungssysteme INTELEKTRAN-S, INTELDIGIT-PI und die Steuerung ELWRO-80.
Zu neueren Entwicklungen zählen die dezentralen Automatisierungssysteme INTELDIGIT-PROWAY und INTELEKTRAN-M sowie der Mikroprozessor-Regler EFTRONIK-M.

1. Zum Stand der Automatisierungstechnik in der VR Polen

1.1. *Meßumformer für Druck und Differenzdruck*

In der VR Polen werden zwei Typenreihen von Meßumformern für Druck und Differenzdruck produziert (Tafel 1):

- Meßumformer Klasse 41 nach einer Lizenz von *Honeywell* [1]; piezoresistives Wirkprinzip; Dehnmeßstreifen auf der Membran integriert; explosionssicher; Hersteller MERA-PNEFAL
- Meßumformer für Differenzdruck, Überdruck und Unterdruck, Typ EPA und EPP [2]; tensometrisches Wirkprinzip, Dehnmeßstreifen auf die Metallmembran geklebt; Brückenschaltung; Hersteller MERA-ZAP; polnische Eigenentwicklung.

1.2. *Elektrische Stellantriebe*

Im Betrieb MERA-ZAP werden elektrische Antriebe für Klappen, Ventile und Schieber hergestellt (Tafel 2).

1.3. *Speicherprogrammierbare Steuerungen* [2]

Im Betrieb MERA-ZAP werden speicherprogrammierbare Steuerungen nach einer Lizenz der Fa. *Pilz*/BRD gefertigt. Sie sind in 3 Konstruktions- und Funktionsvarianten lieferbar (Tafel 3). Zur Komplettierung der Steuerungen können auch Programmier- und Serviceeinrichtungen geliefert werden.

1.4. *Elektrisch-analoges Bausteinsystem INTELEKTRAN-S* [3]

Das System INTELEKTRAN-S besteht aus universellen analogen und digitalen Baugruppen, die vorzugsweise zum Aufbau von Regeleinrichtungen für langsame Prozesse dienen. Zu den wichtigsten Einsatzfällen zählt die Regelung von Dampferzeugern für 360-MW-Dampfturbinen.
Mit INTELEKTRAN-S-Einrichtungen können weiterhin folgende Aufgaben realisiert werden: einschleifige Regelkreise, Kaskaden- und Verhältnisregelung, Rechnersteuerung, Back-up-Regler für digitale Regelungen, Ablaufsteuerungen, automatische Umschaltung der Steuerungsart bei Störfällen.
INTELEKTRAN-S-Einrichtungen sind in folgenden konstruktiven Einheiten lieferbar:

- Bausteineinschübe zum Einbau in typische 19″-Baugruppenträger
- Pultelemente zum Einbau in Mosaikpulte
- Leitgeräte für die Rechnersteuerung in Kompaktausführung; Frontabmessungen 72 × 144 mm², zur Montage in Warten und Pulten.

Als Montagekonstruktionen sind Baugruppenträger oder Schränke für 10 Baugruppenträger vorgesehen. Als internes Signal der Bausteine des Systems INTELEKTRAN-S wird das Gleichspannungssignal 0 ... 10 V oder das bipolare Signal −10 ... 0 ... 10 V genutzt. Die genannten Einrichtungen werden im Betrieb ELWRO in Wrocław hergestellt.

1.5. *Elektrisch-digitales Bausteinsystem INTELDIGIT-PI* [4]

Das System INTELDIGIT-PI ist ein Sortiment steckbarer Bausteine zur digitalen Verarbeitung elektrischer Signale. Sie können in drei Gruppen unterteilt werden:

a) Passive E/A-Baugruppen eines Mikrorechnersystems
b) Mikroprozessorbausteine, die den Bau eines Mikrorechners ermöglichen
c) Mikroprozessorsteuerungen zur Steuerung der passiven Bausteine der Gruppe a).

Alle funktionalen INTELDIGIT-PI-Bausteine sind in 19″-Baugruppenträgern montiert, die in Schränken zusammengefaßt werden. Es wird ein spezielles, nicht standardisiertes internes Interface benutzt. Hersteller der Einrichtungen ist der Betrieb MERA-ZAP.
Auf Basis des Systems INTELDIGIT-PI lassen sich verschiedene Steuer-, Register- und Datenverarbeitungseinrichtungen aufbauen, z. B.

- SM 1300 mit INTELDIGIT-PI-Einrichtungen für die chemische Industrie der DDR
- INTELDIGIT-PI-Mikrorechner mit weiteren PI-Einrichtungen für die Automatisierung von Eisenbahnstationen
- das Bildschirmsystem INTELMONITOR-ESIW-M zur Beobachtung von Prozessen

Tafel 1. Wichtigste Parameter der Druckmeßumformer

Meßwert	Typenreihe					
	Klasse 41			EPA und EPP		
	Meß-spanne	Genauig-keit	maximaler statischer Druck	Meß-spanne	Genauig-keit	maximaler statischer Druck
Differenz-druck	0 ... 0,7 kPa bis 0 ... 250 kPa	±0,35% ±0,75%	13,7 MPa	0,1 ... 0,25 kPa bis 40 ... 100 kPa	±0,6%	0 ... 70 kPa oder 0 ... 32 MPa
Über-druck	0 ... 2 MPa bis 0 ... 69 MPa	±0,2% ±0,4% ±0,5%	–	0,1 ... 0,25 kPa bis 10 ... 25 MPa	±0,6%	–
Absolut-druck	0 ... 5,3 kPa bis 0 ... 1723 kPa	±0,35%	–	–	–	–
Unter-druck	−103 ... −55 kPa bis −1013 ... −145 kPa	±0,35%	–	−0,6 ... 1,44 kPa bis 0,1 ... 0,25 kPa	±0,6%	–
Niveau	0 ... 1270 bis 0 ... 24500 mmH_2O	±0,35%	–	–	–	–

Prof. Dr.-Ing. *Tadeusz Missala* (61) studierte bis 1949 an der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität in Łódź. Von 1950 bis 1959 Tätigkeit in der Flugzeugindustrie als Abteilungsleiter, Hauptkonstrukteur und Fachdirektor. 1960 bis 1964 Leiter des Laboratoriums für Automatik am Institut der organisch-chemischen Industrie in Warschau. 1963 Promotion und Berufung zum Dozenten. 1964 bis 1967 Leiter des Laboratoriums für elektromagnetische Elemente an der Militärtechnischen Akademie WAT in Warschau. Seit 1967 Leiter des Bereichs für elektrische Automatik des Industrieinstituts für Automatik und Meßtechnik MERA-PIAP in Warschau. 1978 Berufung zum Professor.

[1] Die deutsche Bearbeitung besorgte Dr. sc. techn. *U. Bahrs*.

Tafel 2. Wichtigste Parameter der Stellantriebe

Art der Antriebe	Momenten- oder Schubkräftespannen	Drehwinkel- oder Stellwegspannen	Wegzeiten oder Lineargeschwindigkeiten	Antriebsmotor, Weggeber
Schwenkantriebe Typ EWS	40 ... 250 Nm 630 ... 1000 Nm	9° ... 90°	1,5 °/s	Drehstrommotor, Widerstandsweggeber
Schwenkantriebe Typ SWb und SWc	45 ... 65 Nm 70 ... 100 Nm 100 ... 140 Nm	0° ... 90°	1,5 °/s	Drehstrommotor, Widerstandsweggeber
Schwenkantriebe Typ ESW 03, 04	40 ... 250 Nm 250 ... 1000 Nm	9° ... 90°	1,5 °/s	Drehstrommotor, Induktivitätsweggeber
Schwenkantriebe Typ ESW-09	500 Nm 250 Nm	90°	3 °/s 6 °/s	Ferrarismotor, Widerstandsweggeber
Schubantriebe Typ ESL-01	1 ... 4 kN bis 10 ... 16 kN	2,5 ... 25 mm bis 25 ... 250 mm	36 mm/min bis 144 mm/min	Drehstrommotor, Widerstandsweggeber
Schubantriebe Typ ESL-06 (Variante 1)	1,6 ... 2,5 kN	0 ... 25 mm 0 ... 40 mm	25 mm/min	Drehstrommotor, Induktivitätsweggeber
Schubantriebe Typ ESL-06 (Variante 2)	1 ... 1,6 kN	0 ... 100 mm	25 mm/ min	Ferrarismotor, Induktivitätsweggeber

– die Mikrorechnerbaugruppe PIM-10 zur zentralen Datenregistrierung und -verarbeitung
– die Mikrorechnerbaugruppe PIM-100 zur binären Eingangsdatenregistrierung und Störungsmeldung
– die Mikrorechnerbaugruppe PIM-20 zur Unterstützung der Mensch/Maschine-Kommunikation
– die Mikrorechnerbaugruppe TELETERM-MC zur Temperaturmessung und -registrierung in landwirtschaftlichen Lagerhallen.

1.6. *Steuerungseinrichtungen ELWRO-80* [7]

ELWRO-80 ist ein System von Einschub-Bausteinen zur Realisierung von Sequenzsteuerungen und zur Datenerfassung. Die ELWRO-80-Familie besteht aus folgenden Bausteinen:

a) Rechnerbaustein auf Basis des Mikroprozessors 8080 A
b) Speicherbausteine 8 Kbyte EPROM, 4 Kbyte RAM und 4 Kbyte EPROM + 2 Kbyte RAM
c) Interfaceverstärker zur Kopplung zwischen mehreren Baugruppenträgern
d) Datenumsetzer zur Umformung des parallelen Kodes des ELWRO-80 in einen seriellen Kode der Peripheriebaugruppen
e) Datenumsetzer zur Umformung des parallelen Kodes des ELWRO-80 in einen parallelen Kode der Peripheriebaugruppen
f) Taktgeber, die auch als Eingangs-/Ausgangsbaugruppen für Impulssignale wirken können
g) Eingangsbaustein für 16 TTL-Eingänge mit Optokoppler
h) Ausgangsbaustein für 16 TTL-Ausgänge mit Optokoppler.

Das System ELWRO-80 wird im Betrieb ELWRO Wrocław hergestellt.

2. Aktuelle Tendenzen der Automatisierungstechnik der VR Polen

2.1. *Vorbemerkungen*

In der Automatisierungstechnik herrscht generell die Tendenz zur Dezentralisierung vor. Daher sind auch die Automatisierungssysteme dezentral aufgebaut. Die einzelnen Leitgeräte und Datenerfassungsgeräte sind über serielle Busse verbunden und bilden lokale Netze. Diese Tendenz ist auch in der Zukunft absehbar. Die International Organization of Standardization (ISO) hat ein 7-Schichten-Modell des Informationsaustausches in den Informatik- und Automatiknetzen entwickelt, auf dem das MAP-Konzept (Manufacturing Automation Protocol) aufbaut [5]. Die unteren Schichten des ISO-Modells basieren u. a. auf IEEE-Standards, z. B.

– IEEE 802.2 Datensicherung
– IEEE 802.3 CSMA/CD-Bus, z. B. Ethernet
– IEEE 802.4 Tokenbus
– IEEE 802.5 Tokenring.

Der internationale Standard der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) „PROWAY-C“ wurde dem Standard IEEE 802.4 angepaßt und wird in diesem Jahr veröffentlicht.

Diesen Tendenzen entsprechend laufen in der VR Polen Entwicklungsarbeiten zu lokalen Netzen und dezentralisierten Automatisierungssystemen:

a) Lokale Netze von SM-Rechnern werden auf Basis des Standards IEEE 802.3 im Institut für Steuerungssysteme (ISS) in Katowice entwickelt.
b) Ein lokales Fernnetz für die Automatisierung wurde im Institut MERA-PILAP entwickelt. Wegen der begrenzten Bauelementebasis wurde vorerst die Übergangsversion PROWAY-A realisiert. PROWAY-C soll entsprechend den Plänen des RGW Ende der achtziger, Anfang der neunziger Jahre realisiert werden. In nächster Zukunft soll die Entwicklung eines Nahbusses (Feldbus nach IEC-Entwürfen) begonnen werden.

2.2. *Dezentrales Automatisierungssystem INTELDIGIT-PROWAY* [8] *und* [9]

Das System INTELDIGIT-PROWAY dient der Komplexautomatisierung in allen Wirtschaftsbereichen, sowohl für fertigungstechnische als auch verfahrenstechnische Prozesse.

Die Einrichtungen können in Form von Leitrechnern, Datenkonzentratoren oder intelligenten Datensichtgeräten für die Operatoren technischer Prozesse konfiguriert werden. Die Einrichtungen werden in Stationen zusammengefaßt. Bis zu 100 Stationen können durch einen gemeinsamen Datenbus verbunden werden. Als zentraler Datenbus wird PROWAY-A verwendet. Dieser Bus wird in den Standardentwürfen der IEC-SC 65 C beschrieben. Die Einrichtungen INTELDIGIT-PROWAY können beliebig konfiguriert werden, weil der serielle Datenbus PROWAY mit mehreren Schnittstellen Linien-, Gabel- oder Sternstruktur haben kann (PROWAY-A nur Linienstruktur).

Wesentliche Parameter, die den PROWAY-Bus und die Qualität der Informationsübertragung charakterisieren, sind:

Tafel 3. Parameter der speicherprogrammierbaren Steuerungen

Parameter	Typ der Einrichtung		
	PC-4k	PC-2k	PC-Compact
Anzahl der Eingänge	bis 512	bis 240	16, 48, 94
Anzahl der Ausgänge	bis 496		32, 32, 64
Programmspeicher	bis 8 Kbyte	bis 4 Kbyte	bis 4 Kbyte
Eingangs- und Ausgangsspannung	24 V	24 V Gleichspannung	24 V
Eingangsstrom	20 mA	20 mA	20 mA
Ausgangsstrom	0,1 A; 0,5 A	0,1 A; 1 A; 1,5 A	0,1 A; 1 A; 1,5A
Einstellzeit	1 s bis 100 s	1 s bis 400 s	1 s bis 400 s
Programmierte Zeitbereiche	0,1 ... 51,1 s 1 ... 511 s 0,01 ... 5,11 min 0,1 ... 51,1 min	0,1 ... 51,1 s 1 ... 511 s 0,01 ... 5,11 min 0,1 ... 51,1 min	0,1 ... 51,1 s 1 ... 511 s 0,01 ... 5,11 min 0,1 ... 51,1 min
Bauart	Bausteine	Bausteine	Bausteine

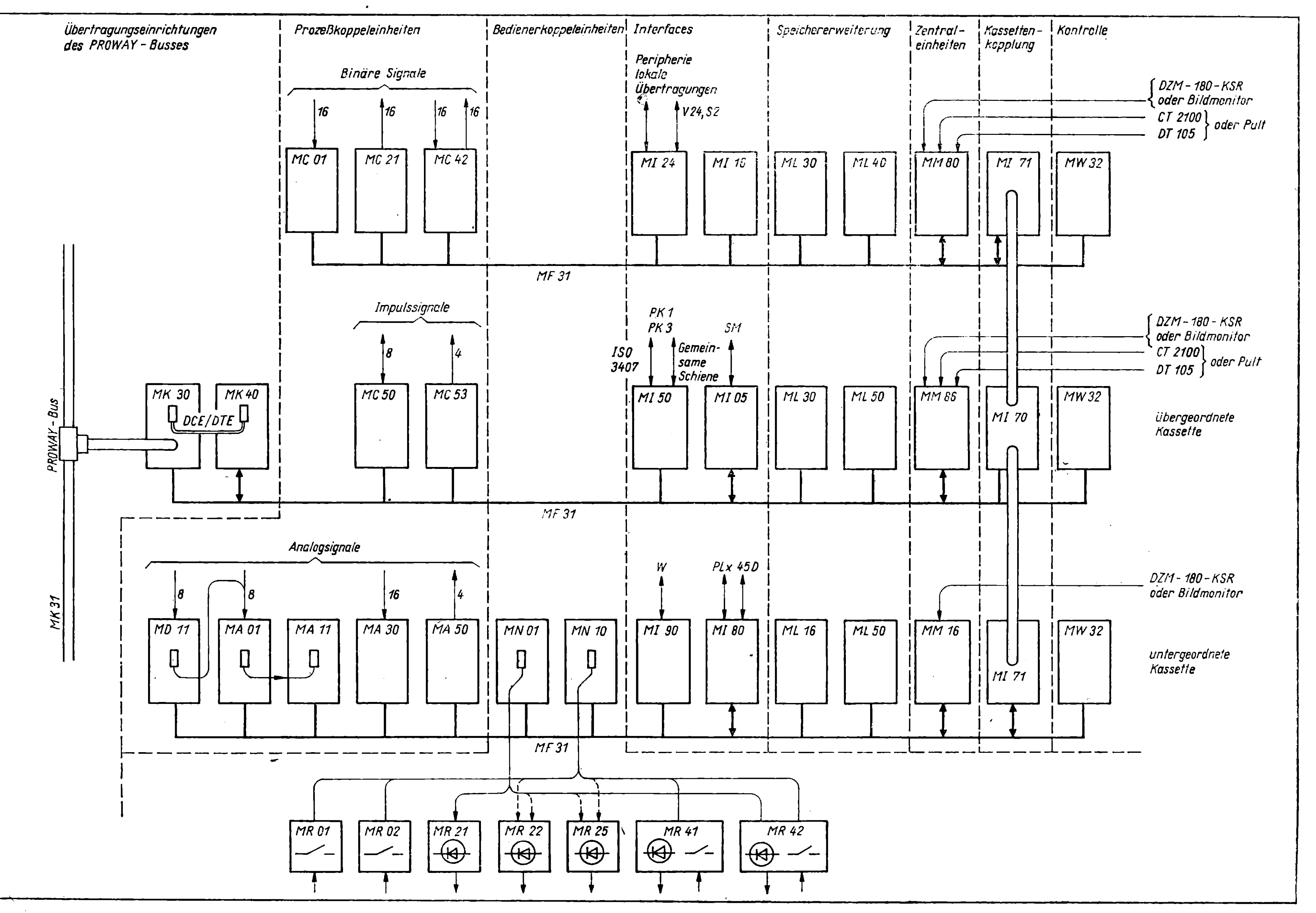


Bild. Dezentrales Automatisierungssystem INTELDIGIT-PROWAY — Maximalkonfiguration

- maximale Anzahl von Stationen: 100
- Wellenwiderstand des Koaxialkabels: 75 Ω
- Buslänge: bis 2000 m
- binäre Übertragungsrate: 1 Mbit/s
- maximale Übertragungsrate des Anwenders: 12,5 kbit/s
- Primärfehler: nicht größer als 10^{-6}
- Übertragungsfehler: nicht größer als $3 \cdot 10^{-15}$
- Zugriffszeit der Stationen zum Bus: kleiner als 20 ms.

Einzelne Stationen INTELDIGIT-PROWAY können auch autonom zur Automatisierung einzelner Maschinen, Aggregate sowie Kontroll- oder Prüfstände eingesetzt werden. Außerdem können einzelne Bausteine individuell als Elemente von Mikroprozessorsystemen beliebiger Bestimmung verwendet werden.

Die Einschübe werden in 19"-Baugruppenträger montiert und über einen internen Bus (MF 31) verbunden. Dieser Bus entspricht dem polnischen Fachbereichsstandard BN-84/3104-03, der dem AMS-Bus nach dem Dokument IEC 478 (Germany) 5 vom Mai 1982 entspricht.

Alle mechanischen Konstruktionen entsprechen der IEC-Publikation 297-II, und alle Einschübe sind von doppeltem Europaformat (233,4 × 220 mm²). Das System INTELDIGIT-PROWAY umfaßt die folgenden wichtigsten Einrichtungen:

a) Übertragungseinrichtungen des Busses PROWAY-A:
   - Liniensteuerung MK-30, die das digitale Seriensignal des Rahmens auf das Liniensignal des Busses in beiden Richtungen wandelt
   - Übertragungssteuerung MK-40, die die Busprotokolle realisiert
   - serieller Datenbus MK-01 mit mehreren Schnittstellen (Koaxialkabel mit einer Impedanz von 75 Ω, bis 2000 m Länge)
b) drei Zentraleinheiten:
   - MM 80 auf der Basis des 8-bit-Mikroprozessors 8080 A
   - MM 86 auf der Basis des 16-bit-Mikroprozessors 8086
   - MM 16 auf der Basis des 16-bit-Mikroprozessors 8086 und des Koprozessors 8087
c) Bausteine zur Erweiterung des Datenspeichers: (ML 30, 50, 16)
d) Bausteine zur Erweiterung des Programmspeichers: (ML 40, 50, 16)
e) Kontrollbaustein der Station (MW 32)
f) Interfacebausteine:
   - Adapter der „Gemeinsamen Schiene" UNIBUS (MI 05)
   - Interfacebaustein V 24
   - Bausteine zur Kopplung mit externen Speichern: Kassettenspeicher (MI 50), Diskettenspeicher (MI 80), Winchesterspeicher (MI 90)
   - Einschübe zur Erweiterung des Kassettenbusses (MI 70, MI 71)
g) Einrichtungen zur Kopplung mit dem Objekt:
   - Bausteine für die Verarbeitung analoger Signale: Kontakt-Multiplexer MA 01; A/D-Umsetzer MA 11; intelligente Koppeleinheiten MA 30, MASO; Eingänge für Widerstandsthermometer und Thermoelemente MD 11
   - Bausteine für die Verarbeitung diskreter Signale: 16 binäre Eingänge MC 01; 16 binäre Ausgänge MC 21; 16 binäre Eingänge und 16 binäre Ausgänge MC 42/41; 8 binäre Ein- oder Ausgänge für Frequenz- und Impulssignale MC 50
h) Einrichtungen zur Mensch/Maschine-Kommunikation (MR 01, MR 02, MR 21, MR 22, MR 25, MR 41, MR 42, MN 01, MN 10).

Das Bild zeigt die Maximalkonfiguration des INTELDIGIT-PROWAY-Systems. Außerdem werden in der nächsten Zukunft drei weitere intelligente Bausteine für die Verarbeitung von Ein- und Ausgängen beliebiger Art entwickelt. Sobal die ersten Entwürfe des IEC-Standards zum Nahbus/Feldbus bekannt werden, kann mit der Entwicklung des Bausteins für die Kopplung mit dem Feldbus begonnen werden.

Die INTELDIGIT-PROWAY-Einrichtungen werden im Institut MERA-PIAP und im Betrieb MERA-ZAP hergestellt.

2.3. *Mikroprozessor-Regler EFTRONIK-M [10]*

Der kompakte Mikroprozessorregler EFTRONIK-M dient dem Aufbau autonomer und dezentraler Automatisierungssysteme für langsame Prozesse in der Chemie, der Energietechnik usw.

EFTRONIK-M kann als 4-Kanal-Regler eingesetzt werden. Die Konfigurierung der Reglerstruktur erfolgt softwaremäßig. Es stehen dafür 8 analoge Eingänge, 8 binäre Eingänge, 4 analoge Ausgänge und 8 binäre Ausgänge zur Verfügung.

EFTRONIK-M ist ein digitaler Regler, der von zwei Mikroprozessoren I 8080 A gesteuert wird. Er hat ein Leitgerät für die Mensch/Maschine-Kommunikation, ein serielles Interface V 24 und ein serielles Strominterface, das die Kopplung mit anderen digitalen Geräten ermöglicht. Die Konfigurierung und die Parametereingabe erfolgten über das Leitgerät, das auch für Servicearbeiten benutzt wird.

EFTRONIK-M ist für den Warteneinbau vorgesehen. Die Karteneinschübe des Reglers haben Standard-Europaformat, 100 × 160 mm². Seine äußeren Abmessungen sind 150 × 200 × 500 mm³. Die Programmbibliothek umfaßt 30 Algorithmen.

2.4. *Dezentrales Automatisierungssystem für kontinuierliche Prozesse INTELEKTRAN-M*

Das System INTELEKTRAN-M ist ein System von Einschüben, Bedieneinrichtungen, speziellen Eingangs- und Ausgangsbausteinen und Stromversorgungseinrichtungen, das für den Aufbau dezentraler Automatisierungssysteme für träge Prozesse in der Chemie, Energietechnik usw. bestimmt ist. Es verfügt über ein Bussystem mit zwei Bussen: den Fernbus und den Kassettenbus. Es benutzt das Interface V 24 als Zwischenkassetteninterface. Der Fernbus ist ein PROWAY-A-Bus, der Kassettenbus ist der AMS-Bus. Alle funktionellen Einschübe haben doppeltes Europaformat (233,4 × 220 mm²).

Folgende funktionelle Einschübe sind lieferbar:

- Mehrfunktionsregler, zum Aufbau von Zweikanalreglern geeignet
  Die Funktionen können frei programmiert werden. Die Programmbibliothek ist die gleiche wie beim Regler EFTRONIK-M. Der Regler hat 4 analoge Ausgänge, 8 binäre Eingänge, 8 binäre Ausgänge, 4 Schrittausgänge.
- Baustein für 32 analoge Eingänge
- Baustein für 32 digitale Ein- oder Ausgänge, die in 4 Gruppen zu je 8 Signalen programmiert werden können.
- Baustein zur Kassettensteuerung
- Handprogrammiergerät als Hilfsmittel für Inbetriebnahme und Service
- Mosaikpult für den Operator
- Spezielle Eingangs- und Ausgangsbausteine mit folgenden Funktionen: galvanische Trennung der Ein- und Ausgänge; Anpassung der natürlichen Signale; Hand/Automatik-Umschaltung; Umschaltung von digitaler auf Reserve (Back-up)-Steuerung und umgekehrt; binäre Meldung spezieller Funktionen usw.

Das System INTELEKTRAN-M wird im Betrieb ELWRO Wrocław hergestellt.

Zusammenfassung

Im Beitrag wird ein Überblick über einige automatisierungstechnische Geräte und Gerätesysteme gegeben, die in der VR Polen hergestellt werden. Die angeführten Lösungen verdeutlichen den fortgeschrittenen Stand der polnischen automatisierungstechnischen Industrie.

Literatur

[1] EFTRONIK-Electronic System Instrumentation. Katalog der Firma MERA-PNEFAL, VR Polen.
[2] Kataloge der Firma MERA-ZAP. VR Polen.
[3] Einrichtungen der elektrischen Analogautomatik INTELEKTRAN-S. Katalog des Instituts MERA-PIAP. Warszawa 1978.
[4] Anwenderinformator und Kataloge des Systems INTELDIGIT-PI. Institut MERA-PIAP, Warszawa.
[5] *Gross, Catherine:* Vers Un standard des reseaux locaux industriels avec MAP. Electronique Industrielle No 78/1-11-19 ss. 41–42.
[6] 65C (Germany) 2, April 1985. Proposal of the German National Committee for Elaborating a Field Bus Standard for Industrial Process Measurement and Control.
[7] System ELWRO-80. Katalog der Firma ELWRO, Wrocław.
[8] Dezentralisiertes Mikroprozessorsystem der Komplexautomatisierung INTELDIGIT-PROWAY. Katalog des Instituts MERA-PIAP, Warszawa.
[9] *Missala, T.:* System INTELDIGIT-PROWAY. Wiadomości podstawowe (Basisinformationen). V ZKA Betrieb MERA-ZAP 1985.
[10] EFTRONIK-M. Katalog der Firma MERA-PNEFAL, Warszawa.
[11] INTELEKTRAN-M. Technische Voraussetzungen. MERA-ELWRO, Wrocław 1985.

msr 8670

W. Kriesel; W. Richter; P. Gibas

Feldbusnetz für Automatisierungssysteme mit intelligenten Funktionseinheiten

0. Einleitung und Problemorientierung

Der wissenschaftliche Disput um die möglichen Entwicklungsrichtungen von Automatisierungssystemen auf Mikroprozessorbasis wird durch den anhaltenden Innovationsschub der Mikro- und Optoelektronik immer wieder neu angeregt.
Für die mittelfristige Entwicklung erscheinen zwei Richtungen als relevant:

- Verzahnung zwischen Automatisierungsanlagen (Automatik) und Computertechnik (Informatik) auf einer übergeordneten Ebene durch Einsatz lokaler Netze (LAN) sowie deren Verbindung zu globalen Weitbereichsnetzen (WAN) im nationalen und internationalen Maßstab [1]
- Einführung intelligenter Meß-, Stell- und Leiteinrichtungen sowie deren direkte Kopplung über ein prozeßnahes bitserielles Feldbussystem [2].

Zu einem solchen Automatisierungskonzept wurden in der DDR bereits relativ frühzeitig Überlegungen angestellt [3] und [4], die inzwischen durch weitere Arbeiten ausgeweitet und vertieft wurden [5] und [6]. Kernstücke eines solchen zukünftigen Systemrahmens sind auf der einen Seite dezentralisierte modulare Funktionseinheiten für Meß- und Stellaufgaben sowie die entsprechende Leittechnik, die durch geräteinterne Mikrorechner (Einchipmikrorechner) über eigene Echtzeit-Verarbeitungsmöglichkeiten verfügen [7] und daher als intelligent bezeichnet werden.
Auf der anderen Seite stellt das prozeßnahe Feldbussystem als struktur- und verfügbarkeitsbestimmender Faktor derartiger Automatisierungslösungen eine wesentliche Komponente dar, zu deren Realisierung als Netzstruktur nachfolgend eine neuartige Lösungsvariante dargestellt wird.

1. Intelligente und buskoppelbare Funktionseinheiten

Als ein typisches Beispiel für eine intelligente Funktionseinheit kann der bereits 1983 vorgestellte intelligente Druckmeßumformer ST 3000 (smart transmitter) gelten, weil hier neben der Signalaufbereitung auch eine Signalverarbeitung im Meßumformer selbst vorgenommen wird [8]. Die hierfür ausgewiesenen Parameter (Linearitätsfehler kleiner 0,1%, Meßspanne 100:1 bzw. 400:1, Temperatureinfluß $8 \cdot 10^{-4}\,K^{-1}$ u. a.) wurden dadurch erreicht, daß das Sensorelement, ein Mikrorechner und andere Baugruppen (AD-Umsetzer) eine konstruktive Einheit bilden, und daß in einem nichtflüchtigen Speicher Daten über die individuellen Sensorparameter abgelegt sind. Die damit verbundene Erhöhung der Genauigkeit, die Möglichkeit der Fernkonfigurierung, der Meßbereichsfernverstellung, die Programmierbarkeit der Verarbeitungsalgorithmen und die erhöhte Zuverlässigkeit bzw. Ferndiagnose rechtfertigen die Bezeichnungen „intelligente Funktionseinheiten bzw. Geräte". Charakteristisch ist aber auch, daß diese Eigenschaften eine parallele Messung und Verarbeitung von mehreren Größen (Prozeßdruck, statischer Druck und Temperatur) erfordern. Nicht erfüllt wurde bisher der Wunsch nach direkter digitaler Signalübertragung über ein bitserielles Feldbussystem.

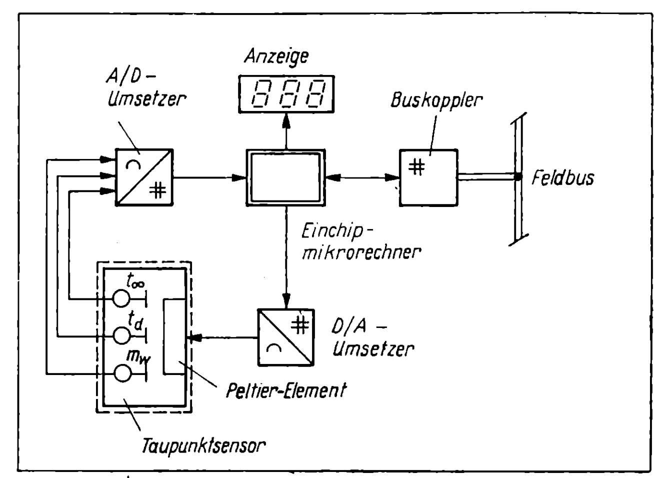


Bild 1. Intelligenter Feuchtesensor

Ein weiteres Beispiel stellt ein intelligenter Meßumformer für Feuchte dar. Hier werden mit einem Mehrfachsensor die zur Bestimmung des Taupunktes notwendige Wassermasse auf einem kapazitiven Taupunktspiegel, die Taupunkttemperatur sowie die Umgebungstemperatur bestimmt. Ein Einchipmikrorechner ermittelt daraus die absolute bzw. relative Feuchte und steuert den Peltier-Kühler des Sensors (Bild 1). Wesentlich ist hier die Koppelbarkeit mit anderen Funktionseinheiten über einen seriellen Feldbus [9].
Ähnliche intelligente Funktionseinheiten gestatten die indirekte Bestimmung einer gesuchten Größe über die Erfassung mehrerer anderer Größen und deren rechentechnische Verarbeitung, die Merkmalextraktion aus Signalgemischen u. a. Auch für intelligente, buskoppelbare Stelleinrichtungen sind bereits Konzepte erarbeitet worden [10]. Wenn aber derartige intelligente und zugleich buskoppelbare Funktionseinheiten verfügbar sind, so ist deren direkte digitale Verknüpfung in einem System, das auch hierarchisch strukturiert sein kann, ein logischer Schritt in Richtung fortschrittlicher Systemkonzepte für automatisierte Systeme im Sinne der einleitend angestellten Überlegungen. Hierauf wird am Beispiel von zwei Ebenen (LAN und Feldbusnetz) nachfolgend näher eingegangen.

2. LAN-Einsatz für Automatisierungsanlagen

Ist in einem Automatisierungssystem entsprechend Bild 2 ein lokales Netz (LAN) enthalten, dann werden auch im Wartenbereich verteilte Rechnerfunktionen möglich, die den bisherigen zentralen Wartenrechner (Prozeßrechner) ersetzen. Derartige funktionell-zentrale Prozeßrechner sind nachteilig, wenn eine Reihe von aufwendigen Aufgaben zu lösen ist, die ihrerseits eigentlich parallel abgearbeitet werden müßten. Ebenso problematisch ist die Änderung von Teilfunktionen sowie die Behebung von Fehlern. Die Kostendegression für mikroelektronische Komponenten erlaubt das Zusammenspiel mehrerer Rechnermodule in einem lokalen Netz, u. a. spezialisierte Module für Archivierung, für spezielle Applikationen (komplizierte Algorithmen, Mehrgrößensysteme, Adaption u. ä.) sowie Rechnermodule für Optimierungs- und andere Koordinierungsaufgaben (z. B. System TDC 3000).
An das lokale Rechnernetz können auch die Bildschirmeinheiten zur Mensch-Maschine-Kommunikation direkt angeschlossen werden. Weiterhin muß das LAN eine Koppelstelle zum bestehenden Prozeßbus haben, der die einzelnen Basissteuerein-

---

Prof. Dr. sc. phil. *Werner Kriesel* (46) studierte von 1959 bis 1964 Regelungstechnik an der TH Magdeburg. Anschließend als Entwicklungsingenieur, Abteilungsleiter und stellv. Bereichsleiter im Institut für Regelungstechnik Berlin, dort u. a. an Entwicklung und Einsatz des Systems ursamat ® beteiligt. 1968 Promotion A. 1971 Berufung zum Hochschuldozenten für Automatisierungstechnik an die TH Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik; dort von 1976 bis 1979 Stellv. Sektionsdirektor für Forschung. 1978 Promotion B. 1979 Berufung zum ordentlichen Professor für Automatisierungstechnik an die TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, seit 1981 stellvertretender Sektionsdirektor für Forschung.

Prof. Dr. sc. techn. *Werner Richter* (56) studierte von 1952 bis 1958 Luftfahrttechnik in Rostock und Dresden und war anschließend auf den Gebieten der Geräteentwicklung und der Fernwirktechnik tätig. 1968 Promotion zum Dr.-Ing. mit einer Arbeit über Gleichlaufprobleme bei der großformatigen Bildtelegrafie. 1973 Promotion (B) über Frequenzanaloge Meßsysteme. 1969 Berufung zum Dozenten für Prozeßmeßtechnik an die TU Dresden, 1974 zum ordentlichen Professor für Meßtechnik an die Ingenieurhochschule Leipzig (ab 1977 Technische Hochschule Leipzig); seit 1975 Direktor der Sektion Automatisierungsanlagen an dieser Hochschule. Seit 1982 Vorsitzender der WGMA.

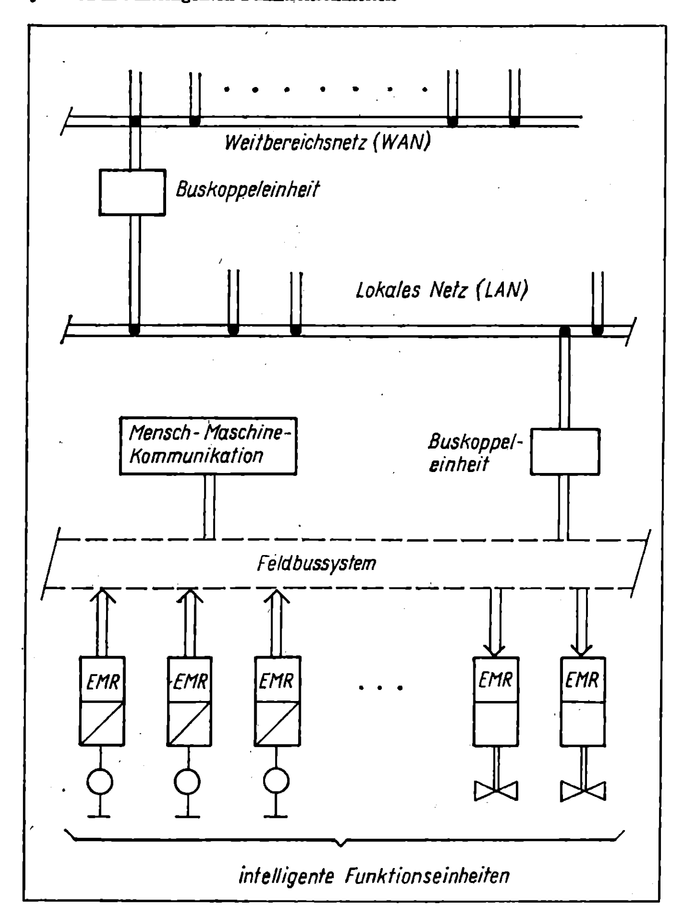
Dr.-Ing. *Peter Gibas* (39) studierte von 1966 bis 1973 (einschließlich Forschungsstudium) an der TH Ilmenau, Sektion INTET, Fachrichtung Theoretische Elektrotechnik. 1980 Promotion A. Industrietätigkeit im Kombinat Nachrichtenelektronik sowie im Starkstromanlagenbau Leipzig-Halle. Seit 1983 wissenschaftlicher Oberassistent an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

heiten untereinander verbindet. Ebenso bestehen Koppelstellen zu größeren Datenverarbeitungsanlagen sowie zum Anschlüß an Weitbereichsnetze (WAN) zur Datenfernübertragung, z. B. für Ferndiagnose. Teile des lokalen oder globalen Netzes nutzen heute bereits Lichtwellenleiter.
Mit der Einführung von LAN als Bestandteil größerer Automatisierungsanlagen sind zugleich aber auch die geräte- und anlagentechnischen Voraussetzungen gegeben, um die Einrichtungen der Automatik vollständig mit denen der Informatik (Datenverarbeitung) zu verzahnen. Damit wird die Integration einzelner Automatisierungsanlagen in ein umfassendes System der Betriebssteuerung einschließlich der Produktionslenkung und Prozeßsicherung [11], der Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse, der Instandhaltung und der Anknüpfung zur Büroautomation ermöglicht. Die Einführung eines lokalen Netzes mit hohen Datenübertragungsraten und modular konfigurierbaren Rechnerkapazitäten ist zugleich als ein qualitativ neuer Schritt in der weiteren Entwicklung von Automatisierungsgenerationen zu werten [1] und [12].
Im unmittelbar prozeßnahen Bereich stehen jedoch ähnlich gravierende Durchbrüche in der Informationsübertragung, wie Digitalisierung, Busprinzip mit linienförmigen Strukturen sowie flexible Netze, noch aus [12]. Hierzu wird im folgenden Abschnitt ein automatisierungsspezifischer Vorschlag für ein Feldbussystem beschrieben, mit dem ein erster Schritt in Richtung auf hierarchisch strukturierte Übertragungsnetze in Automatisierungsanlagen gezeigt wird (vgl. Bild 2).

3. Feldbusnetz (FBN)

Bild 3 stellt eine Prinziplösung für das prozeßnahe Feldbussystem mit Netzstruktur dar, die ihrerseits aus ringförmigen Elementarstrukturen aufgebaut wird. Diese Ringbuselemente sind fehlertolerant ausgelegt, und die Steuerung des Buszugriffs für ihre Teilnehmer ist für den Echtzeitbetrieb entworfen und erfolgt daher deterministisch sowie dezentral. Über eine Verkopplung der einzelnen Ringbusstrukturen wird eine wahlfreie Verbindung aller dezentral verteilten intelligenten Funktionseinheiten einer Automatisierungsanlage möglich. Hierdurch wird u. a. das klassische Dekompositionsproblem weitgehend entschärft, und zugleich entsteht eine Basislösung für den CAD-Einsatz mit Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Topologie, Zuverlässigkeit sowie Erfüllung von Echtzeitanforderungen.

Bild 2. Hierarchische Informationsübertragungsstruktur in Automatisierungssystemen mit intelligenten Funktionseinheiten



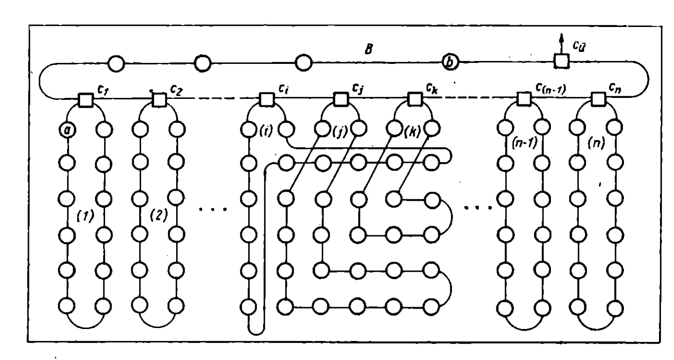


Bild 3. Feldbusnetz FBN
○ intelligente Funktionseinheiten; □ Koppelstationen

Die Gesamtmenge der intelligenten Funktionseinheiten wird beim Entwurfsprozeß zunächst nach rein topologischen Gesichtspunkten in Gruppen aufgeteilt, die jeweils über einen Ringbus verbunden werden. In diese Bussysteme ist jeweils eine Koppelstation eingefügt, wobei die Koppelstationen untereinander sowie mit hierarchisch übergeordneten Funktionseinheiten über ein den Gruppen entsprechendes Ringbussystem verbunden sind. Die Koppelstationen stellen dabei sowohl in den elementaren Ringbussystemen als auch im übergeordneten Ring gleichberechtigte Teilnehmer dar und übernehmen den Datentransfer zwischen den Ringbussystemen. Somit ergeben sich bei deterministischen Zugriffsverfahren und zyklisch umlaufendem Zugriffsrecht in den einzelnen Ringbussystemen (obere Wartezeitgrenze zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sendemöglichkeiten für einen beliebigen Teilnehmer garantiert) projektierbare obere Grenzen der Zeiten für den Datentransfer zwischen beliebigen Funktionseinheiten der Anlage. Daraus resultiert, daß die Reaktionszeit als wesentliches Kriterium für den Echtzeitbetrieb in Abhängigkeit von der Dynamik des jeweiligen Anwendungsfalls flexibel projektierbar ist.
Darüber hinaus wird in den Buskoppeleinheiten der Teilnehmer, d. h. der intelligenten Funktionseinheiten, eine gleichartige, adressentransparente Hardware verwendet, so daß ein problemloser Austausch von Teilnehmern zwischen den Gruppen realisiert werden kann. Solche Änderungen wirken sich dabei nur auf die Software von Adressendekodern aus, so daß die Basis für den schon erwähnten CAD-Einsatz zur topologischen Optimierung eines Automatisierungsanlagensystems a priori gegeben ist. Durch diese Optimierung werden die Teilnehmer in den Gruppen entsprechend anders angeordnet. Im Bild 3 ist das beispielsweise für die Gruppen i, j und k angedeutet.
Für die Übertragungssteuerung in diesen Ringbussystemen wird ein Verfahren benutzt, das von ringförmig strukturierten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ausgeht und insbesondere auch für die Verwendung von Lichtwellenleitern geeignet ist. Gleichzeitig wird der Übergang zu einem echten seriellen Bus realisiert, wobei der Steuerungs-overhead stark reduzierbar ist.
Zur Verdeutlichung der Wirkungsweise des Datentransfers im vorgestellten Feldbusnetz ist im Bild 4a der Aufbau eines elementaren Ringbussystems und im Bild 4b der prinzipielle Aufbau einer Koppelstation angegeben. Wesentlich für die Funktion ist, daß diese Stationen als völlig gleichberechtigte Teilnehmer sowohl im elementaren Ringbus als auch im übergeordneten Ringsystem arbeiten, und zwar gleichzeitig bei vollständiger zeitlicher Entkopplung der Datenflüsse in den jeweiligen Ringsystemen. Die Koppelstation jeder Gruppe verfügt dazu über einen Speicher I, der während eines Zeitzyklus Δt_a, in dem alle Funktionseinheiten der Gruppe einmal das Senderecht erhalten, alle Informationen über deren Zustand bzw. deren gesendete Informationen speichert. Mittels der Speicher- und Datenflußsteuerung dieser Station werden die Daten, die zur Weitergabe aus dem elementaren Bus bestimmt

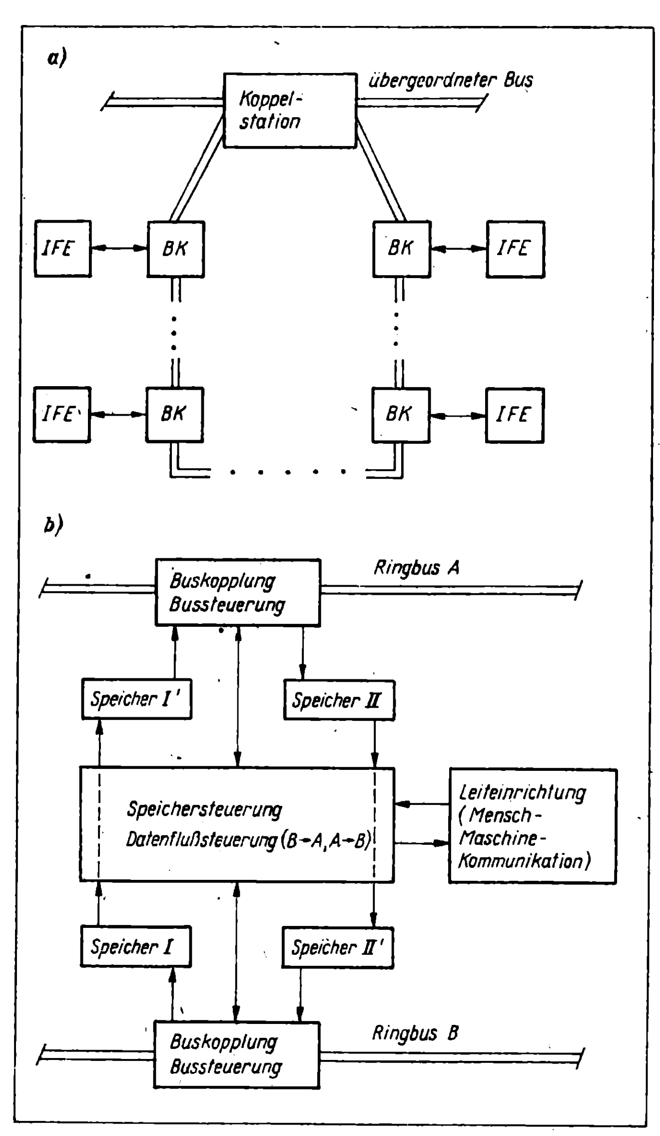


Bild 4. Grundstruktur eines FBN

a) elementares Ringsystem; b) Struktur einer Koppelstation
BK Buskoppler; IFE intelligente Funktionseinheit

sind, aus dem Speicher *I* in einen Speicher *I'* übertragen. Innerhalb des übergeordneten Ringbussystems ist die Datenweitergabe analog zu derjenigen in den elementaren Systemen organisiert. Demzufolge erhält entsprechend der Vergabe des Senderechts jede Koppelstation innerhalb eines bestimmten Zeitzyklus Δt_B einmal das Senderecht im übergeordneten Bussystem. Dabei sind alle anderen Koppelstationen sowie alle hierarchisch übergeordneten Funktionseinheiten hörende Teilnehmer. Während der Sendezeit werden alle im Speicher *I'* enthaltenen Informationen an das übergeordnete Bussystem abgegeben. Am Adreßteil des Datentelegramms erkennen die anderen Koppelstationen, ob die Information für ihre Gruppe bestimmt ist. Ist dies der Fall, so speichert die betreffende Koppelstation die Information in ihrem Speicher *II*. Mittels der Speicher- und Datenflußsteuerung werden die Informationen, die für eine Funktionseinheit der Gruppe bestimmt sind, in den Speicher *II'* übertragen und bei Erlangung des Senderechtes innerhalb der Gruppe gesendet. Am Adreßteil des Datentelegramms erkennt die entsprechende Funktionseinheit der Gruppe, ob die Information für sie bestimmt ist.

Aufgrund dieser Informationsübertragungsstruktur läßt sich die maximale Übertragungszeit von einer Funktionseinheit einer Gruppe zu einer beliebigen Funktionseinheit einer anderen Gruppe bestimmen. Die maximale Übertragungszeit $T_{Ü\,max}$ für die Übertragung einer Information einer Funktionseinheit aus der Gruppe (1) zu einer Funktionseinheit der Gruppe (*n*) ergibt sich nach Bild 3 demzufolge aus der Beziehung

$$T_{Ü\,max\,(1,\,n)} = \Delta t_1 + \Delta t_Ü + \Delta t_n$$

mit

$T_{Ü\,max\,(1,\,n)}$ maximale Übertragungszeit von einer Funktionseinheit einer Gruppe zu einer beliebigen Funktionseinheit einer anderen Gruppe

Δt_1 konstante Übertragungszeit der Gruppe, deren Funktionseinheit eine Information sendet

$\Delta t_Ü$ konstante Übertragungszeit des hierarchisch übergeordneten Ringbussystems

Δt_n konstante Übertragungszeit der Gruppe, für deren Funktionseinheiten die gesendete Information bestimmt ist.

Die Informationsübertragung zwischen einer beliebigen Funktionseinheit einer Gruppe (*i*) und einer hierarchisch übergeordneten Funktionseinheit (*b*) erfolgt entsprechend. Die maximale Übertragungszeit ist dabei

$$T_{Ü\,max\,(i,\,b)} = \Delta t_Ü + \Delta t_i\,.$$

Aufgrund der bestimmbaren maximalen Übertragungszeiten ist es auch möglich, determinierte Reaktionszeiten als wesentliches Kriterium für den Echtzeitbetrieb im Prozeßautomatisierungssystem zu projektieren.

Des weiteren ist aus Bild 4 zu entnehmen, daß in den Koppelstationen auch bestimmte Leitfunktionen für die intelligenten Funktionseinheiten einer Gruppe erfüllt werden. Dies hat insbesondere für räumlich relativ weit verteilte und auch kleinere Anlagensysteme wesentliche Bedeutung.

Zusammenfassung

Der Generationswechsel durch räumlich-dezentralen Einsatz der Mikroelektronik sowie die Ausweitung der flexiblen Automatisierung durch Mikrorechner haben bewirkt, daß der Zwang zur Informationsübertragung zwischen intelligenten Funktionseinheiten von Automatisierungssystemen und zwischen relativ autonomen Automatisierungsteilsystemen stark angestiegen ist. Dieser Trend wird auf den übergeordneten Ebenen von hierarchischen Automatisierungssystemen durch die Einbeziehung lokaler Netze (LAN) und modularisierter Rechnerkapazitäten im Wartenbereich geprägt, wobei die Verkopplung über globale Netze (WAN) eine weitere Stufe darstellt.

Der prozeßnahe Bereich ist charakterisiert durch das weitere Vordringen intelligenter und buskoppelbarer Funktionseinheiten mit Digitalisierung der Informationsübertragung zwischen den Meß- und Stelleinrichtungen sowie dem Wartenbereich, wobei bitserielle Feldbussysteme die bisherige Übertragung mit analogen Strom- und Spannungssignalen mittelfristig ergänzen und schrittweise sogar völlig übernehmen.

Somit kann postuliert werden, daß sich die digitale Informationsübertragung für die Spezifik der Automatisierungstechnik zu einem eigenständigen Spezialgebiet entwickelt, dessen Bedeutung weiterhin im Wachsen ist. Es zeichnet sich ab, daß entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen und den prozeßnahen Einsatzbedingungen spezifische Lösungen innerhalb der Automatisierungssysteme notwendig und gerechtfertigt sind, z. B. für serielle Feldbusse, für die Lichtwellenleitertechnik im Kurzstreckenbereich und für lokale Netze. Nicht zu erwarten ist, daß mit einem universellen Bus die gesamte Vielfalt digitaler Übertragungsaufgaben bei der Automatisierung hinsichtlich Entfernungsbereich, Übertragungsrate, Datenmenge, Übertragungszuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit abgedeckt werden kann. Vielmehr ist eine hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Aufwand abgestufte Menge von digitalen Übertragungssystemen erforderlich, die durch Standards sinnvoll eingeschränkt ist und zugleich den Anschluß an die Bürokommunikation (lokale Rechnernetze) und damit an globale Netze der Datenverarbeitungstechnik gestattet.

Insgesamt steht mit dem vorgeschlagenen neuartigen Feldbusnetz (FBN) zur Kopplung intelligenter Funktionseinheiten für zukünftige Automatisierungssysteme eine konsequente Hierarchie mit Netzstrukturen auf drei Ebenen zur Verfügung:

- WAN (Wide Area Network)
- LAN (Local Area Network)
- FBN (Field Bus Network).

Für das FBN wurde ein Lösungsvorschlag für die Spezifik der fehlertoleranten Echtzeitübertragung unterbreitet.

Literatur

[1] *Kriesel, W.*: Weiterentwicklung von Mikrorechner-Automatisierungssystemen unter dem Einfluß lokaler Netze (LAN). msr, Berlin 29 (1986) 1, S. 10–14.

[2] *Kriesel, W.*: Weiterentwicklung von Mikrorechner-Automatisierungssystemen unter dem Einfluß intelligenter Funktionseinheiten. msr, Berlin 29 (1986) 2, S. 50–53.

[3] *Richter, W.; Kriesel, W.*: Künftige Applikation der Mikroelektronik in der Automatisierungstechnik. Nachrichtentechnik/Elektronik, Berlin 32 (1982) 10, S. 412–415.

[4] *Töpfer, H.; Kriesel, W.*: Zum Generationswechsel bei Automatisierungssystemen. Regelungstechnische Praxis 24 (1982) 10, S. 336–341.

[5] *Kriesel, W.; Eulitzer, B.*: Intelligent Instruments for a Future Generation of Automation Systems. 9th World Congress of the IFAC, Budapest 1984. Preprint , Vol. II, pp. 307–312.

[6] *Töpfer, H.; Kriesel, W.*: Einsatz intelligenter Meß- und Stelleinrichtungen in der Automatisierungstechnik. INTERKAMA-Kongreß, Düsseldorf 1983. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag.

[7] *Kriesel, W.; Schäfer, M.; Köckritz, F.; Telschow, D.*: Testhilfen für Einchipmikrorechner – Vergleich und Bewertung. msr, Berlin 29 (1986) 3, S. 104–107.

[8] ST 3000 Smart Transmitter and SFC Smart Field Communicator. Honeywell Product Manual 34-ST-25-01, (1984) 4.

[9] *Kriesel, W.; Vogler, G.; Gibas, P.*: Intelligent Sensors as Parts of Future Automation Systems. 10th World Congress of the IMEKO, Prague 1985. Preprints, Vol. 12, pp. 96–103.

[10] *Kriesel, W.; Blum, H.; Telschow, D.*: Intelligente und buskoppelbare Stelleinrichtungen. msr, Berlin 28 (1985) 12, S. 534–537.

[11] *Balzer, D.; Richter, W.*: Strategies for Detection and Valuation of Safety in Chemical Plants. 9th World Congress of the IMEKO, Berlin (West) 1982. Preprints, Vol. VI, pp. 312–319.

[12] *Wood, G. G.*: Evolution of Communication Standards for the Process Industry. Measurement & Control 19 (1986) 7/8, pp. 183–188. msr 8675

W. Fritzsch

Durchgängig automatisierte Systemlösungen für die technische Vorbereitung und Steuerung der Produktion – Stand und Perspektive[1)]

0. Einleitung

Gegenwärtig wird viel von der automatischen Fabrik, der Fabrik der Zukunft gesprochen. CIM (Computer Integrated Manufacturing) heißt eine häufig zitierte Formel für die Realisierung dieses Vorhabens. Damit wird ein neuer Automatisierungsschub ausgelöst, der international deutlich die Aktivitäten von der Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse zur Fertigungsautomatisierung verschiebt.

CIM ist sowohl Ziel als auch Weg. Im folgenden Beitrag werden das CIM-Konzept und das zugehörige Datenverarbeitungskonzept zur Realisierung von Komponenten und Systemen für die automatische Fabrik vorgestellt.

1. CIM-Konzept

1.1. *CIM als Ziel*

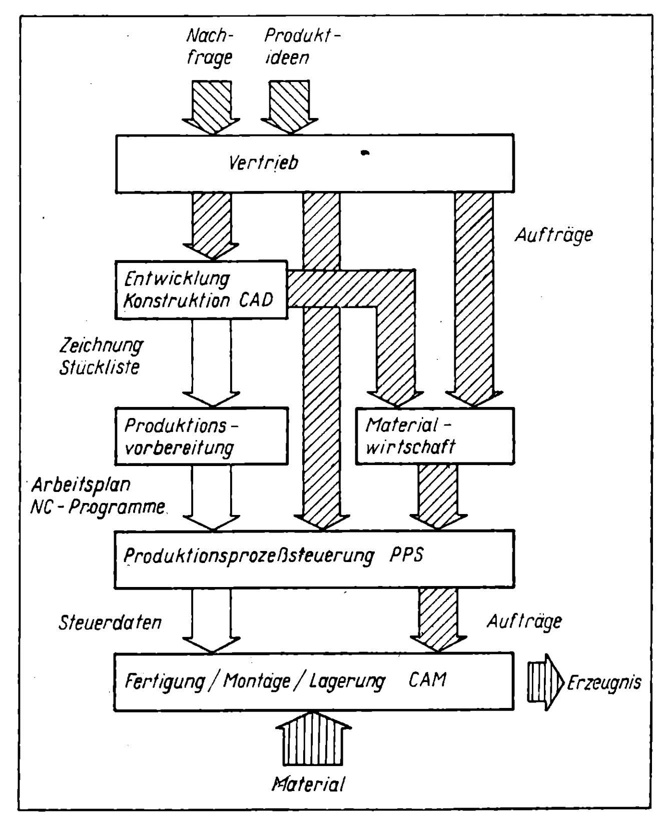
CIM hat die konkurrenzfähige, flexible Fabrik der Zukunft als integrierte Lösung des Produktionsproblems zum Ziel. Das umfaßt die Verkettung aller im Betrieb ablaufenden informationellen und materiellen Prozesse, von der Betriebsplanung (Produktionsprogramm, Finanzplan), der Produktions- und Fertigungsplanung bis zur Fertigungsdisposition und maschinen- und gerätetechnischen Steuerung. Dazu gehört auch, daß die technologischen Prozesse und betriebsorganisatorischen Abläufe automatisierungsgerecht gestaltet werden.

Im Bild 1 ist die Herstellung eines Produktes von der Nachfrage bzw. der Idee bis zur Fertigung schematisch dargestellt. Bei der automatischen Fabrik kommt es darauf an, nicht nur in horizontaler Richtung der einzelnen Ebenen zu automatisieren, sondern vor allem in vertikaler Richtung den betrieblichen Informationsfluß zu integrieren [1]. Diese Tendenz der Automatisierung ist international festzustellen.

Ursachen für die zunehmende Automatisierung in der Produktion ist der Zwang, sich den Veränderungen der Absatzmärkte anzupassen, vom wachsenden Bedarf über die Kostenoptimierung bis hin zur Reduzierung der Umlaufmittel. Auch die DDR muß sich auf diese Bedingungen der internationalen Märkte einstellen [2].

Der Weg eines Erzeugnisses von der Idee bis zur Einführung in den Markt ist von einem Informationsstrom begleitet, der erst während der letzten Wegstrecke – beginnend bei der Produktion – durch einen Materialstrom ergänzt wird. Bei den Tätigkeiten zur Lösungsfindung, dem Erzeugnisentwurf und der Produktionsvorbereitung fließen Informationen aus internen und externen Quellen in den Prozeß. Die unterschiedlichen Informationen müssen in eine zeichnerische Darstellung umgesetzt werden. Bis zur endgültigen Fixierung werden sie mehrfach überprüft und strukturiert, etwa durch rechnerische Methoden oder dadurch, daß sie anderen Personen zur Kontrolle zugeleitet werden. Diese Erzeugnisbeschreibung muß erneut in eine Beschreibung des Fertigungsprozesses umgesetzt werden. Hierfür sind auch Informationen erforderlich, die im Betrieb an verschiedenen Stellen bereits vorhanden sind. Zur Fertigung auf numerisch gesteuerten Produktionsmitteln sind diese beschreibenden Informationen in Steuerabläufe umzusetzen.

Bild 1. Informationskette einer Fertigung



Prof. Dr. sc. techn. *Wolfgang Fritzsch* (56) studierte von 1950 bis 1955 Elektrotechnik an der TH Dresden. Anschließend bis 1960 Assistent am Institut für Elektrische Antriebe und Bahnen und am Institut für Hochspannungstechnik der TH Ilmenau. 1960 Promotion A (Impulsgesteuerte Gleichstromantriebe). Von 1960 bis 1965 in Jena und Dresden im Zentralinstitut für Automatisierung, zuletzt als Hauptabteilungsleiter. Von 1965 bis 1967 Fachbereichsleiter Geräteentwicklung im Institut für Datenverarbeitung Dresden. Von 1967 bis 1969 im VEB RAFENA-Werke Radeberg tätig, ab 1968 als Direktor für Forschung und Entwicklung; 1969 Berufung an die TH Karl-Marx-Stadt (jetzt TU), zunächst zum Honorarprofessor und dann zum o. Professor für Prozeßautomatisierung. Dort bis 1981 Leiter des WB „Prozeßautomatisierung und Automatisierungsgeräte". 1979 Promotion B zu Fragen der Prozeßrechentechnik. Vorstandsmitglied der WGMA.

1) Plenarvortrag auf der CAD/CAM-Konferenz der Wissenschaftlich-technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA), Berlin 17. Dezember 1986.

Dieser Beitrag entstand mit Unterstützung von Prof. Dr. sc. techn. *D. Kochan*/TU Dresden und Dr.-Ing. *P. Kuntsche*/VEB Kombinat Robotron Dresden.

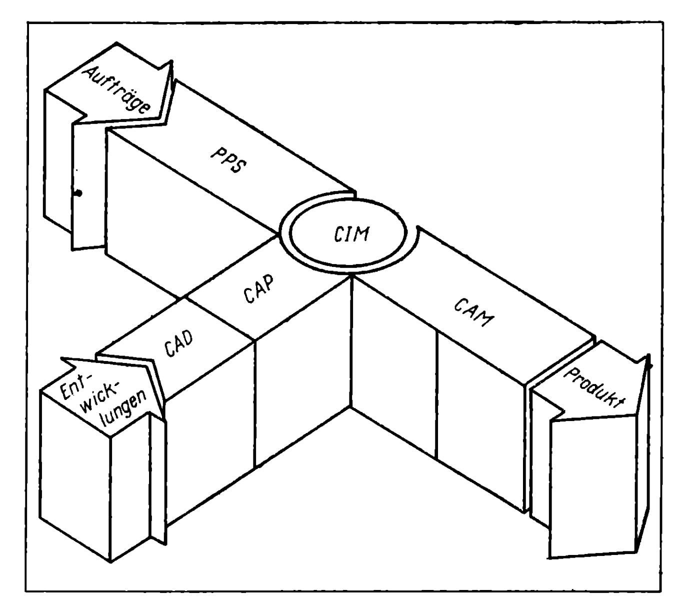


Bild 2. CIM als Verfahrenskette [3]

Hierbei unterliegen Planung und Steuerung logistischen Zusammenhängen, um kurze Durchlaufzeiten, niedrige Bestände und eine störungsarme Produktion zu gewährleisten.
Die gegenwärtige Marktsituation ist gekennzeichnet durch

- kurze moralische Lebenszeiten der Erzeugnisse
- steigende Typenvielfalt
- sinkende Losgrößen
- hohes Qualitätsbewußtsein.

Wie im Bild 1 skizziert, führt dies zu häufigerem und rascherem Durchlauf der Informationskette. Ein derartig hoher Bedarf an Informationsverarbeitung erfordert integrierte Fertigungssysteme mit dem Ziel, alle gestaltenden, planenden, ausführenden und kontrollierenden Informationen in einem zentralen (übergeordneten) Speichersystem zusammenzufassen, um den darauf angewiesenen Stellen den zeitkonformen Zugriff zu ermöglichen. Dieses Ziel wird mit dem Begriff CIM (rechnerintegrierte Fertigung) umrissen.

1.2. CIM als Weg

Der Weg beginnt bei der kleinsten automatisierbaren Einheit, z. B. NC-Werkzeugmaschine, Fertigungszelle, Fertigungssystem; er endet beim optimalen Verbund der Einheiten untereinander und deren Integration mit übergeordneten Entwurfs-, Planungs- und Informationssystemen. CIM ist also auch eine Verfahrenskette (Bild 2) [3]. Der zurückgelegte Weg, also der jeweilige technische Stand, ist heute sehr unterschiedlich zu beurteilen, je nach Industriezweig und Produktionstechnologie. Ausgeführte CAD/CAM-Projekte in den USA beziehen sich auf

- Mechanik 49%
- Elektronik 27%
- Bau/Architektur 15%
- Kartographie 8%.

Tafel. Integrationsformen der Fertigung, gegenwärtiger Stand

Integrationsform	Gegenwärtiger Stand
CAD-NC	Komplexe mehrachsige Bearbeitung auf Basis dreidimensionaler Flächenmodelle Schnittstellen: Speziallösungen IGES: 2 bis 2 1/2 Achsen VDA-FS: 3 bis 5 Achsen
CAD-Roboter	In den Anfangsstadien
CAD-Montage	Noch keine vollständige CAD/CAM-Kopplung
CAD-PPS	Stücklisten-, Arbeitsplangenerierung; vor allem für Produkte mit standardisierten Komponenten: Elektronik (z. B. Leiterplatten), Hydraulik, Anlagenbau Schnittstellen: nicht standardisiert
CAD-CAQ	Erste Ansätze bei Meßmaschinen, Programmierung von Koordinatenmeßgeräten Schnittstellen: IGES, VDA-FS
CAD-CAO	Gegenwärtig keine Anwendungen. Integrationsmöglichkeiten bieten sich an bei: – Dokumentation (Text + Grafik) – Textverarbeitung und Verwaltung – Integration von Ablaufvorgängen der Produktion (Freigaben, Änderungen, Verbote)

Erläuterungen:
CAD Computer Aided Design (Rechnerunterstützter Entwurf); CAQ Computer Aided Quality Assurance (Rechnerunterstützte Qualitätssicherung); CAO Computer Aided Office (Rechnerunterstütztes Büro); IGES Initial Graphics Exchange Specifikation; VDA-FS Verband der Deutschen Automobilindustrie Flächenschnittstelle; PPS Produktionsprozeßsteuerung

Im Bereich der mechanischen Fertigung ist die Integration offenbar am weitesten fortgeschritten.
Die Integration muß nicht immer allumfassend sein, schon einfache Verbindungen können wesentliche Rationalisierungseffekte im Sinne einer flexiblen Automatisierung bringen. Die Tafel gibt in Anlehnung an [4] eine Übersicht über gegenwärtige Integrationsformen in der Fertigung.
Wesentliche Voraussetzung der Integration einzelner Komponenten im CIM-Konzept für die automatisierte, flexible Produktion sind

- Programmierbarkeit der Vorgänge (in der Vorstufe Prozeßanalyse und Modellierung vor allem parallel ablaufender Vorgänge)
- Kommunikationsfähigkeit der Informationen, d. h. standardisierte Schnittstellen und Protokollfestlegungen für die Datenübertragung und Zugriff zu zentralen oder dezentralen Datenbeständen
- direkte Ansteuerbarkeit, d. h. Echtzeitfähigkeit aller Komponenten.

Diesen drei leicht formulierbaren Prämissen liegen technische Anforderungen zugrunde, die höchsten wissenschaftlichen Einsatz und technischen Aufwand erfordern. Viele Einsatzfälle und Wünsche stellen Anforderungen an die Verarbeitungsleistung der Rechnerhardware oder die Mächtigkeit der Software, die bisher, auch international, nicht erfüllbar waren.
Mit wachsender Anlagengröße sind für die flexible Fertigung die Entwicklung und der Ausbau von fünf Komponenten erforderlich, die untereinander integrationsfähig sein müssen.

1. Flexible und intelligente Maschinensysteme mit kurzen Rüstzeiten für die Fertigung vieler unterschiedlicher Teile, auch in kleinen Losen, etwa 1 Stück

Bei Produktionsanlagen für die spanende Fertigung bieten flexible Fertigungssysteme (FFS) gegenwärtig den höchsten Automatisierungsgrad und die höchste Flexibilität. Bei FFS sind unterschiedliche Fertigungseinrichtungen und meistens ein Regallagersystem über ein Transportsystem miteinander verbunden.
Zur Steuerung erfordern flexible Fertigungssysteme neben CNC-Steuerungen und speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) auch einen Leitrechner. Dieser übernimmt

- die Koordination aller Abläufe, wie Reihenfolge der Werkstückbearbeitung
- die Beherrschung von Ausfallstrategien
- die Verwaltung unterschiedlicher Daten, wie NC-Programme oder Werkzeugdaten
- die Ermittlung von Betriebsdaten
- die Erstellung von Meldungen und Berichten.

Damit ist das flexible Fertigungssystem in der Lage, unterschiedliche Werkstücke mit hoher Genauigkeit kostengünstig und wirtschaftlich in einem kurzen Zeitraum zu produzieren.
In der DDR wurden bisher etwa 80 flexible Fertigungssysteme realisiert, davon 27 Systeme mit vier und mehr Werkzeugmaschinen. Etwa 7% aller numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen der metallverarbeitenden Industrie der DDR sind in Systemen eingesetzt. Prognostiziert wird ein Anwachsen dieses Anteils auf über 10% bis 1990. In der DDR wurden allein in den letzten zwei Jahren fünfzehn große Systeme installiert [5]. Ziel des Einsatzes von flexiblen

Fertigungssystemen ist in erster Linie die Steigerung der Produktivität durch:

- minimierte Werkstückrüstzeiten
- vollautomatische Werkzeugversorgung während der Maschinenhauptzeit
- Werkstückbearbeitung während der Pausen
- Abarbeiten von Werkstückvorräten in der niedrig bemannten bzw. unbemannten Schicht.

2. *Automatische Transportsysteme*

Die Fertigung in kleinen Losen bewirkt hohe Transportfrequenzen. Dies erfordert automatische Transportsysteme in unterschiedlichen Ebenen, vom Zellentransportsystem bis zum Werksverkehr.

3. *Durchgängig rechnerunterstützte Verfahren*

Die Durchgängigkeit in der Rechnerunterstützung bezieht sich auf alle Produktionsbereiche, z. B. auf CAD für den Entwurf, CAM für die Produktion, CAP für die Planung, CAQ für die Qualitätssicherung, PPS für die Produktions-Prozeß-Steuerung u. a.

4. *Rechnerverbundsysteme*

Rechnerverbundsysteme sind in unterschiedlicher Größe und Geschwindigkeit für den Einsatz in hierarchischer Ordnung vom Industrie- oder Feldbussystem über das lokale Netz LAN bis zum offenen Weitverkehrsnetz WAN erforderlich.

5. *Expertensysteme*

Die Verkettung des Gesamtsystems zu hoher Komplexität erfordert bei Störungen „Ad-hoc-Entscheidungen". Expertensysteme geben Entscheidungshilfen für manuelle oder automatische Eingriffe.

Die wirtschaftlich produzierende Fabrik in CIM-Struktur ist Zukunft. Bis sie produzieren kann, wird man mit den „Mitteln von heute" CIM-orientierte Produktionssysteme realisieren müssen. Sinnvoll erscheint ein Einstieg in CIM in kleinen Schritten unter Beachtung einer ganzheitlichen Lösung, um in überschaubaren Teilbereichen Erfahrungen sammeln zu können. Insbesondere erscheint es wichtig, bei komplexeren Systemen, wie sie CIM-Strukturen darstellen, in Teilbereichen und für einen bestimmten Zeithorizont die Zuverlässigkeit der Einzelkomponenten zu testen. Aufbauend hierauf sind Sicherungsstrategien in Hard- und Software zu entwickeln und zu implementieren, bevor die nächste Integrationsstufe in Angriff genommen wird.

2. Datenverarbeitungskonzepte

Bei Projekten der flexiblen Automatisierung muß neben einem hohen Automatisierungsgrad im Material- oder Stofffluß ein durchgängiges Konzept für die Datenverarbeitung vorhanden sein.

Funktionelle Zusammenhänge bei der Abwicklung der betrieblichen Aufgaben bestehen zwischen den einzelnen Strukturbereichen:

- Entwicklung, Konstruktion, Projektierung
- Produktionsvorbereitung
- Produktionsplanung
- Qualitäts- und Prüfwesen
- Produktion.

Die abzuwickelnden Aufgaben der Produktionsvorbereitung und der Produktionsdurchführung lassen sich hierarchisch in verschiedenen Ebenen ordnen:

- Planungs- und Dispositionsebene
- Leitungsebene
- Steuerebene
- Meß- und Stellebene
- Prozeßebene.

Eine Darstellung dieser Zusammenhänge zeigt Bild 3. Die Aufgliederung in einzelne, hierarchisch geordnete Ebenen wird auch bei autonomen Teilsystemen vorgenommen. Für ein

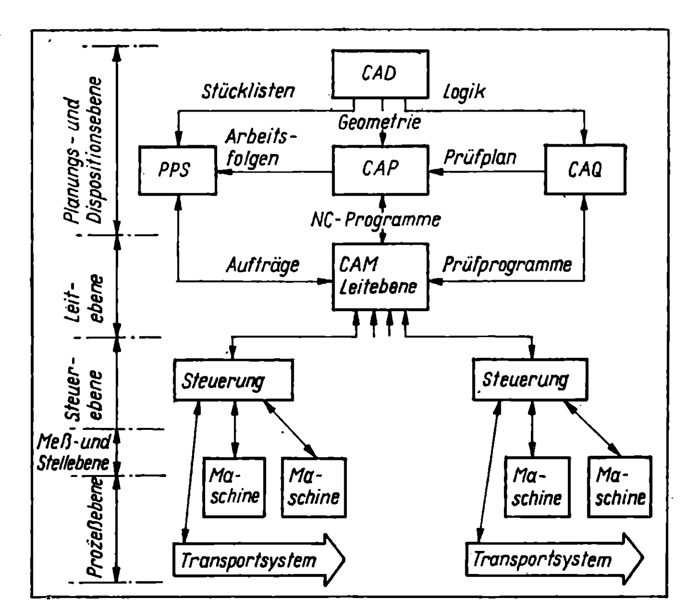


Bild 3. Aufgabenabwicklung bei der Fertigung in unterschiedlichen Ebenen

autonomes Teilsystem einer Transportsteuerung zeigt Bild 4 beispielsweise die hierarchische Ordnung in unterschiedlichen Ebenen und den in den einzelnen Ebenen realisierten Funktionen beim Bedienen/Darstellen bzw. Automatisieren.

Ziel eines integrierten Datenverarbeitungskonzeptes ist es, einen Großteil der Produktionsgrunddaten automatisch zu generieren. Die Durchdringung der einzelnen Aufgabenbereiche mit rechnerunterstützenden Verfahren vollzog und vollzieht sich zunächst in Form von Insellösungen. Im Bild 1 sind das die einzelnen Blöcke. Beim Übergang von einer Bearbeitungsstufe zur nächsten, also in vertikaler Richtung, müssen hier die Daten teilweise umgesetzt oder erneut manuell aufbereitet werden, um für die nächste Ebene verwendbar zu sein. Die Integration der Verfahrensabläufe erzwingt klare Nahtstellendefinitionen und einen Rückgriff auf eine einheitliche Datenbank. Diese Datenbank muß nicht notwendigerweise zentral angelegt sein, bestimmte Datenbestände können auch dezentral geführt werden. Es muß nur unbedingt sichergestellt sein, daß der gesamte Datenbestand in sich widerspruchsfrei, konsistent und aktuell ist.

Die Kopplung und Verknüpfung der einzelnen Teilsysteme erfolgt durch Kommunikationseinrichtungen in Form von lokalen Netzwerken LAN und Weitverkehrsnetzen WAN. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten müssen standardisiert sein. Es genügt aber nicht, wie beim Schukostecker, Inhalt und Funktion vorzuschreiben. Es müssen weit mehr Informationen zum Verbindungsaufbau, der gesicherten Übertragung und zur fachlichen Verständigung übergeben werden. Vereinbarungen hierüber sind in Protokollen festgehalten, die in Form standardisierter Sprachelemente ausgetauscht werden [6]. Diese Kommunikationskultur soll unabhängig von speziellen Hardware- und Betriebssystemeigenschaften sein.

Als Standard für seriell arbeitende Schnittstellen hat sich das ISO-OSI-Schichtmodell eingeführt. Dieses Referenzmodell untergliedert den Kommunikationsvorgang zwischen zwei Stationen in eine Hierarchie von sieben aufeinander aufbauenden Funktionsschichten.

Das allgemeine Kommunikationssystem umfaßt die Ebenen 1 bis 5; die Ebenen 6 und 7 sind anwendungsbezogen (Bild 5) [6]. Unter der Bezeichnung MAP (Manufacturing Automation Protocol) wurde in den USA durch eine Initiative von *General Motors* ein Anwenderkreis gegründet, der einen Standard formuliert, um mit Fertigungsanlagen über Netzwerke zu kommunizieren. Es ist ein busorientiertes Token-Breitband-Netzwerk. Der MAP-Standard überdeckt alle sieben Schichten des ISO-OSI-Referenzmodells. Mit Hilfe dieses Standards soll weltweit über die verstreuten Fertigungssysteme der Einzelfirmen ein Informationssystem installierbar sein. Die endgültige Fassung von MAP wird nicht vor 1988 erwartet [7]. Diese Version gestattet den Anschluß der meisten Computer sowie Steuerungs-

	Funktionen beim Bedienen/Darstellen	Funktionen beim Automatisieren
Produktionsleitebene		
Prozeßebene — Leitsystem	• manuelle Transportauftragserteilung • Fernbedienen • Zustandsanzeige • Protokollierung • Datenarchivierung • Not-Aus • Prozeßabbildführung	• Transportauftragsverwaltung • Bildung von Transportteilaufträgen • Zuweisungen für: Ziel, Weg, Reihenfolge • Prozeßüberwachung
Prozeßsteuerebene — Steuersystem	• Steuereingriffe • Zustandsanzeige	• Steuern: Fahren (langsam, schnell) Drehen, Senken, Heben • Koordinaten der Teilsteuerung • Zustandsüberwachung • Fehlerüberwachung • Not-Aus
Meß- und Stellebene — Meßglieder, Stellglieder		Teilsteuerung
Prozeßebene — Fördersystem		

Bild 4. Hierarchische Ordnung der Funktionen in einem Automatisierungssystem (Beispiel Transportsystem)

und Kontrollgeräte. Gegenwärtig existiert die Version MAP 2.1 (Mai 1985).

Das ISO-Schichtenmodell läßt sich auch in abgerüsteter Form auf lokale Netzwerke anwenden, Dabei sind vor allem Festlegungen zum Zugriffsverfahren erforderlich. Zur Anwendung kommen zwei Verfahren:

1. In den Ebenen der Prozeßabläufe und den zusammenfassenden Ebenen bis hinein zur Leitebene ist eine ereignisorientierte Kommunikation mit kurzen, berechenbaren Reaktionszeiten erforderlich. Die Realisierung erfolgt meistens mit dem Token-Zugriffsverfahren.
2. In der Betriebs- und Planungsebene ist die Bewältigung großer Datenmengen vorrangig. Erforderlich ist eine durchsatzorientierte Kommunikation. Empfohlen wird hier nach dem Prinzip des Ethernet-Netzes das CSMA-Zugriffsverfahren (Carrier Sense Multiple Access).

Zur Zeit werden in realisierten flexiblen Systemen verwendet:

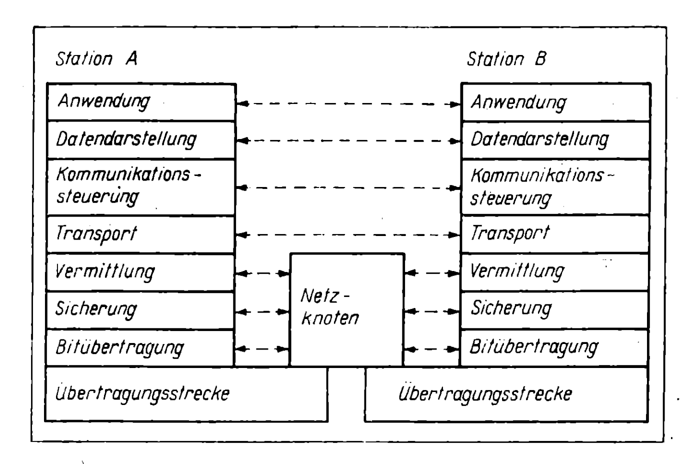
— Geschlossene oder halboffene Kommunikationssysteme als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit technologischer Adressierung, bei der stets die richtige Hardwarekopplung hergestellt wird. Das Quittungsverfahren ist ebenfalls hardwareorientiert. Die Multiplexer-Übertragungsrate beträgt 9600 Baud. Diese Kommunikationsnetze beruhen auf herstellerbezogener Technik mit herstellerbezogenen Schnittstellenstandards. Diese Systeme sind bei aller Leistungsfähigkeit nicht ohne weiteres integrationsfähig.
— Bussysteme
  - Ethernet-Firmenstandard mit 10 MBaud
  - MAP-Bus: Breitbandnetzwerk mit 5 bzw. 10 Mbit/s für die Steuerung von Produktionsanlagen
  - TOP-Bus (Technical and Office Protocol): Basisbandnetz mit 10 Mbit/s zur Verbindung in der CAD-Büroautomatisierung.

Zusammenfassung

Die Realisierung von durchgängigen CIM-Systemen dürfte nach heutigen Schätzungen einen Zeitraum von etwa zehn Jahren in Anspruch nehmen. Nach amerikanischen Untersuchungen können sich derzeit höchstens weltweit zehn Unternehmen eine vollständige, integrierte Automatisierung der Produktion von der Planung über den Material- und Informationsfluß bis hin zum Vertrieb leisten. Dies gilt im Hinblick auf die strukturellen und organisatorischen Voraussetzungen des Produktionsbetriebes und des Produkts, aber auch im Hinblick auf die Investitionskosten [8].

Warum sollte man sich dann mit CIM beschäftigen? Weil der CIM-Gedanke der richtige konzeptionelle Ansatz für einen systematischen Aufbau und Ausbau der Automatisierungssysteme in der Produktion ist!

Bild 5. ISO-OSI-Schichtenmodell



Literatur

[1] *Fritzsch, W.:* Aspekte der Steuerungstechnik in der automatisierten bedienarmen Produktion. msr, Berlin 27 (1984) 2, S. 66–69.
[2] *Georgi, R.:* Auf dem Weg zum automatisierten Betrieb. Techn. Gemeinschaft (1986) 5, S. 7–8.
[3] *Geitner, U.:* Rechnerunterstützte Produktion — Ein Überblick über den Stand von Praxis und Forschung. ZwF 81 (1986) 1, S. 9–14.
[4] *Eigner, M.; Rüdiger, W.; Schmich, M.:* Kopplung von CAD mit PPS- und Informationssystemen als Baustein eines CIM-Konzepts. ZwF 81 (1986) 11, S. 611–614.
[5] *Ulrich, P.:* Vom starren Takt zur flexiblen Linie. Techn. Gemeinschaft (1986) 5, S. 9–10.
[6] *Giese, E.; Görgen, K.; Hinsch, E.; Schulze, G.; Trußl, K.:* Dienste und Protokolle in Kommunikationssystemen. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1985.
[7] *Thole, P.:* Entwicklungstendenzen bei flexiblen Fertigungssystemen. ZwF 81 (1986) 8, S. 433.
[8] *Luttmar, G.:* Integrierte Automatisierung industrieller Gesamtsysteme. VDI-Berichte Nr. 580, S. 1–16, Düsseldorf: VDI-Verlag 1985.

msr 8716

J. M. Kościelny

Diagnostische Tests in Automatisierungsanlagen[1)]

0. Einleitung

Die Zuverlässigkeit der Automatisierungsanlage ist eine wesentliche Voraussetzung für die sichere und wirtschaftliche Betriebsführung einer technologischen Anlage. Ein Aspekt der Zuverlässigkeit von Automatisierungsanlagen ist die Fehlertoleranz [1].

Fehlertolerantes Verhalten einer Automatisierungsanlage ist an bestimmte strukturelle Voraussetzungen, an die Fähigkeit zu Echtzeitselbsttest/Selbstdiagnose und an die zur Rekonfigurierung von Hardware und Software im Fehlerzustand gebunden. Test und Diagnose schließen dabei Hardware, Software, Meß- und Stelltechnik, aber auch relevante technologische Komponenten ein; sie umfassen ein Spektrum spezifischer Funktionen, die automatisch oder mit Unterstützung durch den Operateur ablaufen. Eine diesbezügliche Grenze hängt dabei von der Leistungsfähigkeit der informationellen Technik ab. Ohne Operateur sind folgende Test- und Diagnosefunktionen realisierbar:

- Bewertung des Betriebszustandes der Anlage, Erkennung des Fehlers
- Bestimmung des Fehlerorts
- Analyse von Havarien, mögliche Konsequenzen
- Dokumentation von Alarm- und Havariezuständen.

Die Güte der Diagnose hängt in starkem Maße von den verwendeten Testverfahren ab. Dazu werden nachfolgend wesentliche, in der On-line-Diagnostik von Automatisierungsanlagen zu verwendende Testverfahren dargestellt.

1. Charakteristik der verwendeten Testverfahren

Eine wesentliche Klasse von Tests sind die von Grenzwertüberschreitungen analoger Prozeßgrößen und die Kontrolle variabler Binärgrößen. Die Nutzung allein dieser Tests reicht jedoch nicht, um die Art eines Fehlers schnell und genau zu bestimmen. Dazu sind weitere Tests erforderlich, u. a. solche unter Verwendung verschiedener adäquater Modelle (statische, dynamische, logische) [2]. In der Regel ist die Modellierung kompliziert und aufwendig. Es gibt jedoch Fälle, in denen vergleichbar einfache Modelle möglich sind oder das Verhalten der zu diagnostizierenden Strecke auf einen Satz von Parametern reduzierbar ist; dem entsprechen z. B. Tests unter Nutzung von

- Messungen der Rückkopplungssignale in Regelkreisen
- Glaubwürdigkeitstests von Analogsignalen u. a.

Weitere in Automatisierungsanlagen verwendete Tests sind in [3] bis [8] beschrieben. Andere als in diesem Beitrag behandelte Gesichtspunkte der Diagnostik von Automatisierungssystemen werden in [9] und [10] zum Ausdruck gebracht.

2. Anforderungen an die Diagnosesoftware

Diagnosesoftware sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- automatische Erkennung und Lokalisierung der Fehler
- Tests durch den Operateur auslösbar
- hohe Diagnosesicherheit und -glaubwürdigkeit
- Diagnosemöglichkeit auch bei Strukturänderungen der Anlage
- Diagnose aus dem Prozeß heraus, ohne erzwungene Tests [11].

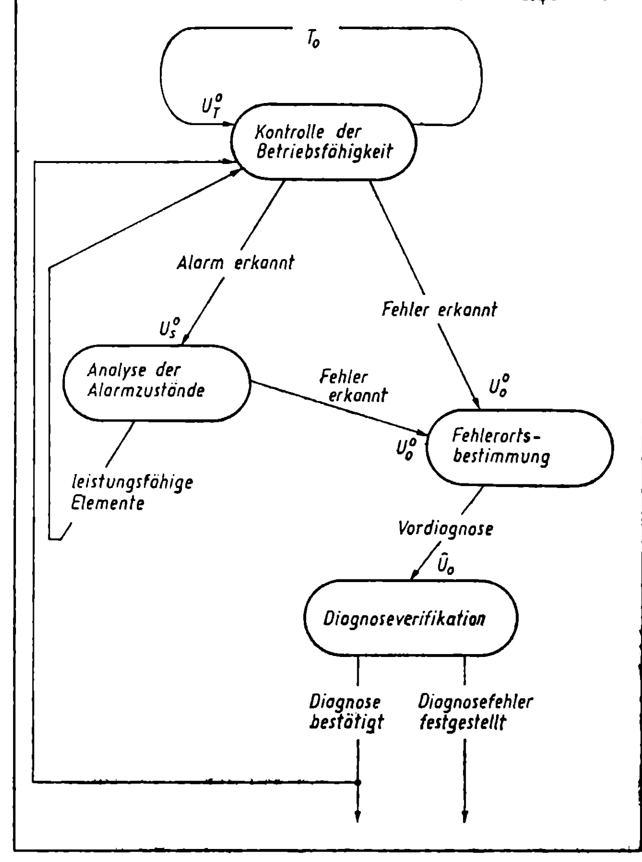


Bild 1. Phasen der Testrealisierung

3. Realisierung von Tests

Die Diagnoseeffektivität hängt von der Art und Weise ab, wie ausgewählte Tests realisiert werden. Die Testfolge ist nicht beliebig; sie wird als Diagnoseprogramm realisiert. Man unterscheidet [12]:

- feste Diagnoseprogramme: die Analyse wird nach Abschluß der Testfolge durchgeführt
- Folgeprogramme: die Analyse ist schritthaltend, die Testfolge wird abgebrochen, wenn ein Diagnoseergebnis vorliegt
- variable Programme: der Folgetest hängt vom Ergebnis des laufenden Tests ab.

Bei der Realisierung eines Diagnoseprogramms können 4 Phasen unterschieden werden:

1. Alarmzustands- und Fehlererkennung
   Dazu werden Tests periodisch wiederholt. Ein Alarmzustand wird erkannt, wenn eine Grenzwertüberschreitung einer Prozeßgröße festgestellt wird. Ein Fehler ist erkannt, wenn ein negatives Testergebnis ermittelt wird.
2. Fehlerlokalisierung
3. Analyse der Alarmzustände
4. Diagnoseverifikation.

Ein Modell, das einen Diagnosevorgang in einer Automatisierungsanlage beschreibt, zeigt Bild 1. Diagnoseverfahren mit festem Programm sind nicht effektiv, da Tests unabhängig vom aktuellen Zustand der Anlage ausgeführt werden. Auch Folgeprogramme haben Nachteile. Das Testprogramm wird zwar nach Vorliegen des Diagnoseergebnisses unterbrochen, der Inhalt ist jedoch starr. Variable Programme, deren Testfolge sich aus einem mit dem Entwurf geplanten Diagnosebaum (Bild 2) ergibt, sind ebenfalls umständlich. Die Testergebnisse sind empfindlich gegenüber Änderungen der Systemstruktur.

Dr.-Ing. *Jan Maciej Kościelny* (37) studierte von 1967 bis 1973 an der Fakultät Feinmechanik der TH Warschau Industrieautomatik. Seit 1973 am Institut für Industrieautomatik der TH Warschau tätig. Bis 1980 wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent. Seitdem Adjunkt am gleichen Institut. 1980 Promotion.

1) Die deutschsprachige Bearbeitung wurde von Prof. Dr. sc. nat. *F. Baldeweg*, Zentralinstitut für Kernforschung der AdW der DDR, vorgenommen.

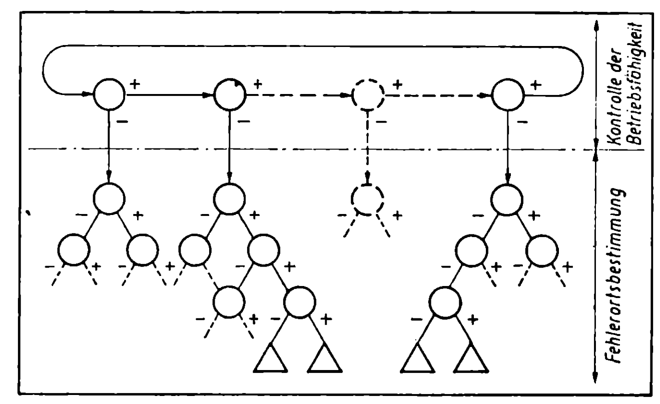


Bild 2. Diagnosebaum

○ Test; △ Diagnoseergebnis

Diese Änderungen und eine entsprechende Modifikation des Diagnosebaums müssen synchron erfolgen; in Havariesituationen ist das unmöglich. Variable Programme, die durch eine dynamische Testauswahl charakterisiert sind, haben diese Nachteile nicht. Die Testauswahl wird in Abhängigkeit von Kriterien ausgeführt, die zwar die gleichen sind wie im o. g. Fall, die Kriterien werden jedoch in der Menge der funktionierenden Teilsysteme der Automatisierungsanlage aktuell geprüft.
Nachfolgend soll diese Methode genauer untersucht werden.

4. Interpretation der Testergebnisse

Der Zustand $\boldsymbol{S}$ des zu testenden Systems wird durch den Vektor der Zustände S_i der ausgewählten Elemente $A_i \in \boldsymbol{A}$; $i = 1 \dots m$, bestimmt. Dabei gilt

$$S_i = \begin{cases} 0 & \text{„Element ist arbeitsfähig"} \\ 1 & \text{„Element ist defekt".} \end{cases}$$

Es wurde angenommen, daß in einem Zeitintervall δ nur 1 Element ausfällt.
Für die Diagnose wird ein Testprogramm unter Verwendung einer Testmenge $\boldsymbol{D} = \{d_j; j = 1, \dots, p\}$ genutzt. Jeder Test erfaßt eine Menge

$$\boldsymbol{U}_j = \{A_j(d_j); j = 1, \dots, p\} .$$

Für die d_j gibt es die Möglichkeiten:

$$d_j \to \begin{cases} d_j^- & \text{„negatives Testergebnis"} \\ d_j^+ & \text{„positives Testergebnis".} \end{cases}$$

Liegt d_j^- vor, so kann angenommen werden, daß sich unter den $\boldsymbol{U}_j$ ein defektes Element befindet, d. h.

$$d_j^- \equiv \bigvee_{i:\, A_i \in \boldsymbol{U}_j(d_j)} (S_i = 1) ;$$

wenn d_j^+ vorliegt, dann sind alle getesteten Elemente arbeitsfähig, d. h.

$$d_j^+ \equiv \bigwedge_{i:\, A_i \in \boldsymbol{U}_j(d_j)} (S_i = 0) .$$

Der Test schließt die Elemente und ihre Verknüpfung untereinander ein. Wichtig ist, daß der Einfluß der dynamischen Eigenschaften der geprüften Elemente auf die Diagnose beachtet wird. Dazu wird jedem Test d_j eine Zeit τ_j zugeordnet, die als maximales Zeitintervall zwischen Fehlerentstehung in einer Menge $\boldsymbol{U}_j(d_j)$ und dem Auftreten von Symptomen zu betrachten ist.

5. Tests zur Bewertung des Anlagenzustandes

Der aktuelle Zustand der Systembewertung sei durch eine Menge $\boldsymbol{U}_T$ der noch zum Test verbleibenden Elemente charakterisiert. Vor dem 1. Test gilt

$$\boldsymbol{U}_T = \boldsymbol{U}_T^0 \equiv \boldsymbol{A} \equiv \{A_i; i = 1, \dots, m\} .$$

Im Verlauf des Tests wird die Teilmenge $\boldsymbol{U}_j(d_j)$ ermittelt. Damit aktualisiert sich im k-ten Schritt (bei positivem Testergebnis)

$$\boldsymbol{U}_T^k = \boldsymbol{U}_T^{k-1} - \boldsymbol{U}_j(d_j) .$$

Für die Testauswahl ist es durchaus zweckmäßig, die τ_j und eine Wahrscheinlichkeit P_i für das Auftreten von Fehlern in den i Systemelementen zu berücksichtigen.
Dabei ergibt sich

$$P_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^{v} \lambda_i} \cdot \lambda_i = a \cdot \lambda_i .$$

λ_i Ausfallrate des i-ten Elementes; v Zahl der Elemente, die noch zu prüfen sind ($\equiv$ card ($\boldsymbol{U}_T$))

Die Testauswahl kann nach folgenden Kriterien durchgeführt werden:

$$d_j \equiv \hat{d} \equiv \max_{j:\, d_j \in \boldsymbol{D}} \frac{1}{\tau_j} \sum_{i:\, A_i \in \boldsymbol{U}_T \cap \boldsymbol{U}_j(d_j)} P_i .$$

Dabei ist $\hat{d}$ der ausgewählte Test. Da angenommen werden kann, daß $a =$ konst. ist, vereinfacht sich der Ausdruck zu

$$d_j \equiv \hat{d} \equiv \max_{j:\, d_j \in \boldsymbol{D}} \frac{1}{\tau_j} \sum_{i:\, A_i \in \boldsymbol{U}_T \cap \boldsymbol{U}_j(d_j)} \lambda_i .$$

Dazu ist die Kenntnis der λ_i erforderlich; sie sollen aus einer Datenbank abrufbar sein. Falls die λ_i nicht vollständig verfügbar sind, kann der Ausdruck für d weiter vereinfacht werden. Wird angenommen, daß alle τ_j und λ_i etwa gleich sind, so entsteht für d_j ein Ausdruck, der der größten Zahl l_j, der bislang nicht geprüften Elemente entspricht

$$d_j \equiv \hat{d} \equiv \max_{j:\, d_j \in \boldsymbol{D}} l_j ,$$

$$l_j = \text{card}(\boldsymbol{U}_T \cap \boldsymbol{U}_j(d_j)) .$$

Das Ende der Testperiode ist erreicht, wenn für alle $d_j \in \boldsymbol{D}$ der Wert $l_j = 0$ erreicht ist. Das bedeutet jedoch nicht, daß alle Elemente geprüft sein müssen. Es gibt im allgemeinen eine Menge $\boldsymbol{B}$, wobei gilt

$$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{A} - \bigcup_{j:\, d_j \in \boldsymbol{D}} \boldsymbol{U}_j(d_j) ,$$

deren Elemente von keinem Test erfaßt wurden. Ursachen dafür sind unterschiedlicher Art, z. B. falsche Auswahl der Testmenge $\boldsymbol{D}$. Der Anlagenfahrer sollte jedoch über $\boldsymbol{B}$ informiert sein, um gegebenenfalls die Tests korrigieren zu können.
Bei negativem Testergebnis beginnt die Fehlerlokalisierung (Bild 1).

6. Analyse von Alarmzuständen

Die Analyse von Alarmzuständen beginnt, wenn zulässige Grenzwerte einer der kontrollierten Prozeßgrößen überschritten werden. Die Gründe dafür können unterschiedlicher Art sein, z. B. Defekte der technologischen Komponenten, der Teilsysteme der Automatisierungsanlage aber auch falsche Bedienung durch den Anlagenfahrer. Grenzwertüberschreitung ist ein Symptom, das zur Diagnose veranlaßt. Dabei ist es ein zwangsläufiges Ziel, in den technologischen und technischen Anlagen echte Fehler/Defekte zu erkennen.
Die Tests sollten nach einer Strategie unter Beachtung der o. g. Kriterien durchgeführt werden. Die Menge $\boldsymbol{U}_s$ wird kontrolliert, die dem aktuellen Alarm k_j zugeordnet ist. Im allgemeinen gilt

$$\boldsymbol{U}_s = \boldsymbol{U}_j(k_j) .$$

Ein negatives Testergebnis veranlaßt schließlich die Fehlerlokalisierung (Bild 1). Ein positives Testergebnis reduziert $\boldsymbol{U}_s$ und $\boldsymbol{U}_T$. Die Analyse der Alarmzustände ist beendet, wenn

$$\boldsymbol{U}_s = \emptyset \quad \text{bzw.} \quad (\boldsymbol{U}_s \cap \boldsymbol{U}_j(d_j)) \equiv \emptyset$$

für alle $d_j \in \boldsymbol{D}$. Das bedeutet, daß es andere Gründe als die Elementbeschädigung für den Alarmzustand gibt.

7. Lokalisierung der Fehler

Die Lokalisierung eines Fehlers beginnt zum Zeitpunkt t_0 seiner Identifikation. Sie hat höhere Priorität als die Bewertung des Betriebszustandes. Für diesen Prozeß ist eine Menge $\boldsymbol{U}_0$ gegeben,

der alle vom Test erfaßten und durch d_j^- charakterisierten Elemente angehören. Die Menge U_0 reduziert sich schrittweise:

$$U_0^k = \begin{cases} U_0^{k-1} - (U_0^{k-1} \cap U_j(d_j)) \text{ , wenn Ergebnis } d_j \text{ positiv} \\ U_0^{k-1} \cap U_j(d_j), \quad \text{wenn } d_j \text{ negativ .} \end{cases}$$

Ein Kriterium zur Fehlerortsbestimmung leitet sich aus folgenden Überlegungen ab:

1. Es werden die Tests realisiert, für die $t - t_0 > \tau_j$ gilt.
2. Nach Beenden eines Tests ändert sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Fehlers in einzelnen Systemelementen. Es gilt

$$\sum_{i:\, A_i \in U_0} P_i = 1$$

mit

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\sum\limits_{i:\, A_i \in U_0} \lambda_i} \quad \text{für} \quad A_i \in U_0$$

und

$$P_i = 0 \quad \text{für} \quad A_i \notin U_0 \,.$$

Daraus ergibt sich als Auswahlkriterium für einen Test zur Ortsbestimmung

$$d_j \equiv \hat{d} \equiv \min_{j:\, d_j \in D} n_j \,; \qquad n_j = |1 - 2 \sum_{i:\, A_i \in U_0 \cap U_j} P_i| \,. \qquad (1)$$

Diese Strategie bevorzugt Tests für jene Elemente, für die die Summe der Wahrscheinlichkeiten eines Fehlers dem Wert 0,5 nahekommt.

Die Ortsbestimmung wird beendet, wenn für alle $d_j \in D$ die Auswahlkenngröße n_j gleich 1 ist.

Das Ergebnis der Ortsbestimmung wird dem Anlagenfahrer mitgeteilt. Er wird zudem über eine minimale Menge $\hat{U}_0$ informiert, in der das defekte Element enthalten ist.

8. Diagnoseverifikation

Um die Glaubwürdigkeit der Diagnose zu sichern, sollte das Diagnoseergebnis automatisiert verifiziert werden. Dafür sind Tests geeignet, die die Menge U_0 erfassen. Dazu ist wiederum eine Menge D_0 von Tests zu registrieren, die zumindest einen Test enthält, mit Hilfe dessen ein Fehler erkannt wurde bzw. Tests, die zur Fehlerortsbestimmung führten. Diese Tests erfüllen folgende Bedingungen

$$U_j(d_j) \cap \hat{U}_0 = \hat{U}_0 \,, \qquad j: d_j \in (D - D_0) \,.$$

Fehlen solche Tests, so müssen $d_j \in D_0$ wiederholt werden.

9. Beispiel

Die bislang notierten Vorstellungen zur Realisierung von Tests sollen an einem Beispiel illustriert werden. Es handelt sich um die Diagnose eines digitalen Kaskadenreglers zur Regelung der Temperatur in einem Wärmetauscher (Bild 3). Dazu werden Temperaturgrenzwerte kontrolliert d_0(1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12) und folgende Tests durchgeführt:

d_1 (5, 11, 12)	Glaubwürdigkeit des Temperatursignals
d_2 (11, 12)	Messung eines Justiersignals
d_3 (8, 10, 11, 12)	Prüfen der Übereinstimmung der Signale u' und u
d_4 (2, 3, 4, 6, 8, 10, 11, 12)	Prüfen der Übereinstimmung der Signaländerung von u und F
d_5 (4, 7, 11, 12)	Prüfen der Übereinstimmung der Signale u' und Z
d_6 (4, 7, 8, 10, 11, 12)	Prüfen der Übereinstimmung der Signale u und Z.

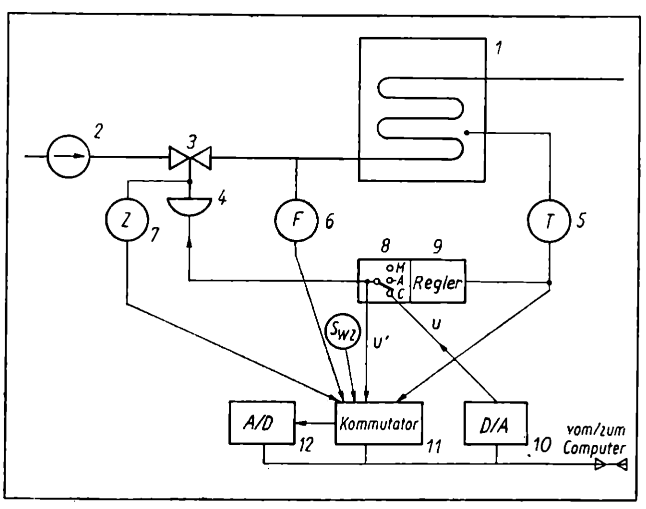
Defekte Elemente können durch jeden Test, der diese Elemente erfaßt, erkannt werden. Die weitere Testfolge ist jedoch davon abhängig, welcher Test ein defektes Element erkannt hat. Im Beispiel wird angenommen, daß für die Bestimmung des Fehlerorts das Kriterium 1. gilt, daß $P_i = 1/\text{card}(U_0^k)$ und daß das Prüfen der Bedingung $t - t_0 > \tau_1$ die Aufeinanderfolge der Tests nicht ändert. Sollten die Werte der Parameter n_j gleich sein, so wird der Test mit dem niedrigeren Index realisiert.

Bild 4a präsentiert die Abfolge des Tests für den Fall, daß ein defektes Element Z (Nr. 7 im Bild 3) durch den Test d_5 erkannt wird. Die Diagnose verursacht die Unterbrechung der Tests d_5 und d_6. Einen Defekt von Element 4 (Servomotor) erkennt z. B. Test d_4 (Bild 4b). Ist Element 4 defekt, Element 7 jedoch betriebsfähig, ergibt sich eine Testfolge gemäß Bild 4c. Die Diagnosegenauigkeit ist in diesem Fall größer als für jenen nach Bild 4b. Bild 4d liefert die Testfolge, die sich für ein defektes Element 2 (Pumpe) ergibt, wenn die Temperatur T überschritten ist.

Das Beispiel illustriert die Adaptionsfähigkeit der automatisch realisierten Diagnose, insbesondere bei Strukturänderungen im System und bei Änderungen in der Menge zugänglicher Tests.

Bild 3. Blockschaltbild eines Temperaturregelsystems eines Wärmetauschers

1 Wärmetauscher; 2 Pumpe; 3 Stellventil; 4 Stellantrieb; 5 Temperaturmeßumformer; 6 Durchflußmeßumformer; 7 Lagegeber; 8 DDC-Station; 9 Analogregler; 10 DA-Umsetzer; 11 Kommutator (Meßstellenumschalter); 12 AD-Umsetzer



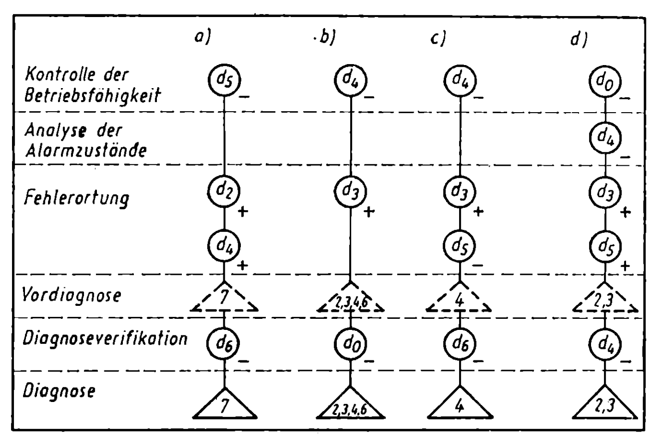


Bild 4. Diagnoseprogramme

Zusammenfassung

Das beschriebene Diagnoseverfahren ermöglicht die schnelle Realisierung von Funktionen, die es gestatten, das untersuchte System in den Normalbetrieb zurückzuführen. Das erreichte Diagnoseergebnis ist das wahrscheinlichste. Über jeden erkannten Fehler, aber auch über die durchgeführten Tests wird der Operateur informiert. Wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist seine Universalität, die eine effektive Anwendung in unterschiedlichen Automatisierungssystemen erlaubt. Die Art und Weise der Strategieauswahl ermöglicht die automatische Anpassung des Diagnoseprogramms an die Systemstruktur. Die Auswahl der Testfolge nach bestimmten Kriterien entspricht einer Optimierung des Diagnosevorganges. Eine strenge Lösung kann mit Hilfe der Methode der „dynamischen Optimierung" nach *Bellman* erreicht werden, ein Verfahren jedoch, das im allgemeinen mit einem hohen Berechnungsaufwand verbunden ist und deshalb für Echtzeitanforderungen derzeit nicht geeignet ist. Das beschriebene Verfahren liefert suboptimale Lösungen.

(Fortsetzung auf Seite 496)

F. Beichelt; L. Sproß

Funktionelle Darstellung der zuverlässigkeitstheoretischen Struktur technischer Systeme durch Orthogonalformen ihrer Strukturfunktion

0. Einleitung

Bei der mathematischen Modellierung des Zuverlässigkeitsverhaltens kompliziert vermaschter technischer Systeme haben sich vor allem in der Automatisierungstechnik binäre Systeme gut bewährt. Voraussetzung für ihre Anwendbarkeit ist das Vorliegen von zwei Eigenschaften:

1. Das System S und seine Elemente $e_1, e_2, \dots, e_n$ können nur zwei Zustände annehmen (funktionstüchtig und ausgefallen).
2. Die Zustände der Elemente bestimmen eindeutig den Zustand des Systems.

Aufgrund von Eigenschaft 1. ist die Einführung von Booleschen (binären) Indikatorvariablen für den Zustand der Elemente und des Systems möglich:

$$X_i = \begin{cases} 1, \text{ wenn } e_i \text{ funktionstüchtig} \\ 0, \text{ wenn } e_i \text{ ausgefallen} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$X_s = \begin{cases} 1, \text{ wenn } S \text{ funktionstüchtig} \\ 0, \text{ wenn } S \text{ ausgefallen}. \end{cases}$$

Wegen Eigenschaft 2. läßt sich der Systemzustand X_s als Funktion der Elementzustände $X_1, X_2, \dots, X_n$ darstellen:

$$X_s = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Die Funktion φ heißt *System-* oder *Strukturfunktion* von S. Ihre Kenntnis ist Voraussetzung für die numerische Zuverlässigkeitsanalyse binärer Systeme. Bereits für Systeme mit einigen Dutzend Elementen sind bei starker Vermaschung die Strukturfunktionen recht kompliziert. Moderne technische Systeme bestehen jedoch nicht selten aus zehn- und hunderttausenden (Bau-)Elementen. Daher spielt die Schaffung rechentechnisch effektiver Algorithmen zur Erzeugung von Strukturfunktionen in der Zuverlässigkeitsarbeit eine entscheidende Rolle. Im allgemeinen gelangt man allerdings auch bei Anwendung effektiver Algorithmen nur dann zu überschaubaren und analytisch auswertbaren Strukturfunktionen, wenn Gruppen von Elementen zu Teilsystemen zusammengefaßt werden können, die dann ihrerseits als Elemente aufgefaßt werden (modulare Zerlegung [4]). Die wichtigste Darstellungsform von Strukturfunktionen beruht auf den Pfadvektoren des Systems.

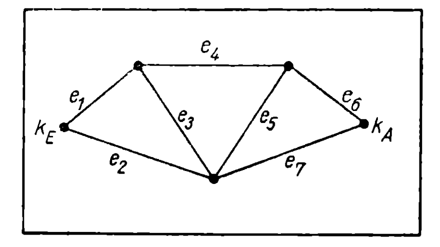


Bild 1. Zuverlässigkeitsschaltbild eines Systems aus 7 Elementen (Beispiel 1)

$X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ist ein *Pfadvektor* von S, wenn $\varphi(X) = 1$ gilt. In diesem Fall ist $W_j = \{i, X_i = 1\}$ die zu X gehörige Pfadmenge. Wird

$$A_j = \prod_{i \in W_j} X_i$$

gesetzt und sind $W_1, W_2, \dots, W_m$ alle Pfadmengen des Systems, so kann man die Strukturfunktion in der disjunktiven Normalform

$$\varphi = A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_m = \bigvee_{j=1}^{m} A_j \tag{1}$$

schreiben. Dabei wird hier und im folgenden von den bekannten Booleschen Grundoperationen zwischen (0, 1)-Variablen oder -Funktionen X und Y Gebrauch gemacht:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Negation} & \bar{X} = 1 - X, \\ \text{Disjunktion} & X \vee Y = \max(X, Y) = X + Y - XY, \\ \text{Konjunktion} & X \wedge Y = \min(X, Y) = XY \end{array}\right\} \tag{2}$$

Gilt $XY = 0$, dann heißen X und Y *orthogonal*. Wegen (2) gilt

$$X \vee Y = X + Y \quad \text{für} \quad XY = 0. \tag{3}$$

Ein binäres System heißt *monoton*, wenn φ nicht fallend in jedem Argument ist und jedes Element Einfluß auf die Systemverfügbarkeit hat. Für diese Klasse binärer Systeme genügt es, bei der Erzeugung der disjunktiven Normalform (1) nur die minimalen Pfadmengen des Systems zu berücksichtigen. (Eine minimale Pfadmenge enthält keine echte Teilmenge, die ebenfalls Pfadmenge ist.) Verfahren zu ihrer Bestimmung auf der Basis eines gegebenen Zuverlässigkeitsschaltbildes finden sich zum Beispiel in [4].

Beispiel 1:

Das Zuverlässigkeitsschaltbild eines binären monotonen Systems mit dem Eingangsknoten $k_E = 1$ und dem Ausgangsknoten $k_A = 5$ sei durch Bild 1 gegeben. Die minimalen Pfadmengen sind

$$\left.\begin{array}{lll} W_1 = \{2, 7\}; & W_2 = \{2, 5, 6\}; & W_3 = \{1, 3, 7\}; \\ W_4 = \{1, 4, 6\}; & W_5 = \{1, 3, 5, 6\}; & \\ W_6 = \{1, 4, 5, 7\}; & W_7 = \{2, 3, 4, 6\}. & \end{array}\right\} \tag{4}$$

Prof. Dr. sc. techn. Dr. rer. nat. *Frank Beichelt* (45) studierte von 1961 bis 1966 Mathematik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Seine Arbeitsstätten waren von 1966 bis 1969 die Sektion Forstwirtschaft der TU Dresden, von 1969 bis 1974 die Sektion Mathematik der Bergakademie Freiberg, von 1974 bis 1979 das Braunkohlenkombinat „Gustav Sobottka" in Röblingen/See, von 1979 bis 1981 die Sektion Technische Verkehrskybernetik der HfV „Friedrich List" Dresden und seit 1981 die Sektion Informationselektronik der Ingenieurhochschule Mittweida, wo er als ordentlicher Professor für Mathematik den WB Mathematik leitet. 1972 Promotion A, 1978 Promotion B.

Dipl.-Ing. *Lutz Sproß* (27) studierte von 1980 bis 1985 an der Ingenieurhochschule Mittweida, wo er eine vertiefte Ausbildung im Fach Mathematik erhielt. Seit 1985 ist er Forschungsstudent im Wissenschaftsbereich Mathematik an der gleichen Hochschule. In seiner Dissertation A beschäftigte er sich mit der rechnergestützten Zuverlässigkeitsanalyse großer Systeme.

Fortsetzung von Seite 495)

Literatur

[1] *Syrbe, M.:* Zuverlässigkeit von Systemen. Regelungstechnische Praxis 25 (1983) 8, S. 307–311.
[2] *Isermann, R.:* Methoden zur Fehlererkennung für die Überwachung technischer Prozesse. Regelungstechnische Praxis 22 (1980) 9, S. 321–325; 10, S. 363–368.
[3] *Williams, J. R.:* Reliability in a process control system. Computer system reliability. Meidenhead: Infotech. Inf. 1974. British Nuclear Design and Construction Limited.
[4] Erkennung und Ortung von Hardware- und Software-Fehlern in Prozeßrechnersystemen. VDI/VDE 3553.
[5] *Kościelny, J. M.:* Diagnostyka on-line komputerowych układów automatyki. Cz. I. Dobor zbioru testów. (On-line-Diagnostik in Rechner-Automatisierungssystemen. Teil 1. Projektierung der Testmenge.) Pomiary Automatyka Kontrola 30 (1984) 3, S. 76–79.
[6] *Siebert, H.:* Automatische Fehlerdiagnose in technischen Prozessen (Literaturübersicht). Bericht KFK-PDV 8 (1973) Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe.
[7] Literaturzusammenstellung zum Problemkreis Fehlererkennung und Fehlerlokalisierung in automatischen Systemen. msr, Berlin 20 (1977) 5, S. 277–281.
[8] *Kościelny, J. M.; Wasiewicz, P.:* Ausgewählte Probleme des Entwurfs eines Diagnose-Sicherungssystems für Mikrorechner-Automatisierungssysteme. msr, Berlin 30 (1987) 3, S. 122–126.
[9] *Baldeweg, F.; Gassmann, F. H.:* Formale Beschreibung von Diagnose und Therapiesteuerung in einem gestörten diskontinuierlich-diskreten Basissystem. msr, Berlin 23 (1980) 10, S. 575–579.
[10] *Baldeweg, F.; Fiedler, U.:* Dialog-orientierte Analyse von Ereignisgraphen – ein Verfahren zur Diagnose komplexer technologischer Anlagen. msr, Berlin 25 (1982) 3, S. 126–128.
[11] *Parchomenko, P. P.:* Osnowy techniceskoj diagnostiki (Grundlagen der Technischen Diagnostik). Moskau: Energija 1976.
[12] *Rozwadowski, T.:* Diagnostyka techniczna obiektów złozonych (Technische Diagnostik von Systemen). Warszawa: WAT 1974.

msr 8656

Damit ergibt sich die Strukturfunktion in der disjunktiven Normalform

$$\varphi = X_2X_7 \vee X_2X_5X_6 \vee X_1X_3X_7 \vee X_1X_4X_6 \vee X_1X_3X_5X_6 \vee \vee X_1X_4X_5X_7 \vee X_2X_3X_4X_6 \,. \quad (5)$$

Bei Berücksichtigung nichtminimaler Pfadmengen in (5) (zum Beispiel $\boldsymbol{W}_8 = \{1, 3, 4, 5, 7\}$ und $\boldsymbol{W}_9 = \{2, 3, 4, 5, 6\}$) erhielte man zwar eine zu (5) logisch äquivalente Strukturfunktion, die aber unnötig kompliziert wäre.

Es seien $p_i = P(X_i = 1)$, $i = 1, 2, \ldots, n$, und $p_s = P(X_s = 1)$ die Verfügbarkeiten der Elemente bzw. des Systems. Ein entscheidender Nachteil der Darstellung (1) besteht darin, daß auch bei Unabhängigkeit der X_i die Berechnung der Systemverfügbarkeit p_s bei gegebenen p_i nicht unmittelbar möglich ist. Empfehlenswert ist es daher, φ in einer *Orthogonalform*, das heißt in einer disjunktiven Normalform mit paarweise orthogonalen Summanden $D_1, D_2, \ldots, D_d$, darzustellen; denn in diesem Fall gilt gemäß (3)

$$\varphi(\boldsymbol{X}) = \bigvee_{i=1}^{m} A_i = \sum_{i=1}^{d} D_i \,, \qquad D_iD_k = 0 \quad \text{für} \quad i \neq k \,. \quad (6)$$

In dieser Darstellung ist $D_i \in \boldsymbol{K}$, wobei $\boldsymbol{K}$ die Menge aller möglichen Produkte gewisser X_i und $\bar{X}_j$ mit $i \neq j$ und $0 \leq i$, $j \leq n$ bezeichnet.

Wegen $p_s = E(X_s)$ folgt aus (6)

$$p_s = \sum_{i=1}^{d} E(D_i) = \sum_{i=1}^{d} P(D_i = 1) \,. \quad (7)$$

Bei paarweiser Orthogonalität der $D_1, D_2, \ldots, D_d$ sind also die zufälligen Ereignisse „$D_i = 1$", $i = 1, 2, \ldots, d$, einander ausschließend. Man beachte, daß die $A_1, A_2, \ldots, A_m$ diese Eigenschaft nicht haben und somit

$$p_s < \sum_{i=1}^{m} P(A_i = 1)$$

für $m > 1$ gilt. Gemäß (7) ist die Berechnung der Systemverfügbarkeit auf die Berechnung der Erwartungswerte $E(D_i)$ zurückgeführt. Bei der im allgemeinen vorausgesetzten Unabhängigkeit der X_i erhält man $E(D_i)$ einfach dadurch, daß alle in D_i vorhandenen X_i und $\bar{X}_j$ durch p_i bzw. $1 - p_j$ ersetzt werden. (Der Erwartungswert eines Produkts unabhängiger Zufallsgrößen ist gleich dem Produkt der Erwartungswerte.)

Somit ist das Problem von Interesse, ausgehend von (1) eine Orthogonalform der Strukturfunktion zu erzeugen:

$$\left.\begin{aligned} \varphi = \bigvee_{j=1}^{m} A_j \to \varphi = \sum_{i=1}^{d} D_i \,, \qquad D_jD_k = 0 \quad \text{für} \quad j \neq k \,, \\ D_j \in \boldsymbol{K} \,. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Es existieren bereits mehrere Verfahren zur Lösung des Problems (8), die sich im wesentlichen in zwei Klassen einteilen lassen. Die erste Klasse beruht auf den induktiv leicht zu beweisenden Beziehungen

$$\bigvee_{j=1}^{m} A_j = \sum_{k=1}^{m} E_k \,; \qquad E_k = \bar{A}_1\bar{A}_2 \ldots \bar{A}_{k-1}A_k \quad (9)$$

und

$$\overline{\bigwedge_{i=1}^{k} X_i} = \bar{X}_1 + X_1\bar{X}_2 + \ldots + X_1X_2 \ldots X_{k-1}\bar{X}_k \,. \quad (10)$$

Die E_k sind paarweise orthogonale Boolesche Funktionen der $X_1, X_2, \ldots, X_n$. Die Methode von *Fratta* und *Montanari* [7] ist eine direkte Anwendung von (9), wobei von (10) Gebrauch gemacht wird. *Tiwari* und *Verma* [12] schreiben (9) in der Form

$$\varphi = A_1 \vee \bar{A}_1(A_2 \vee \bar{A}_2(A_3 \vee \bar{A}_3(\ldots A_{m-1} \vee \bar{A}_{m-1}(A_m)) \ldots)) \,.$$

Beginnend mit $\bar{A}_{m-1}A_m$ werden die orthogonalen Summanden sukzessiv vermittels (10) erzeugt. *Bennets* [6], *Rai* und *Aggarwal* [9], *Aggarwal, Misra* und *Gupta* [2], *Abraham* [1] sowie *Beichelt* und *Sproß* [5] berücksichtigen in ihren Verfahren, daß zur Darstellung der E_k als Summe orthogonaler Produkte nur diejenigen Variablen X_i relevant sind, die in den $A_1, A_2, \ldots, A_{k-1}$ vorkommen, aber nicht in A_k.

Eine zweite Klasse von Verfahren zur Lösung von (8) beruht auf der Dekompositionsformel für die Strukturfunktion binärer Systeme

$$\varphi = X_i\varphi((1_i, \boldsymbol{X})) + X_i\varphi((0_i, \boldsymbol{X}))$$

mit

$$(0_i, \boldsymbol{X}) = (X_1, X_2, \ldots, X_{i-1}, 0, X_{i+1}, \ldots, X_n) \,,$$
$$(1_i, \boldsymbol{X}) = (X_1, X_2, \ldots, X_{i-1}, 1, X_{i+1}, \ldots, X_n) \,.$$

Zu den effektivsten Verfahren dieser Klasse gehören die Verfahren von *Schneeweiß* [10] und *Torrey* [13].

1. Basisverfahren

A sei das Produkt gewisser X_i und $B \in \boldsymbol{K}$. Ferner sei $\boldsymbol{C}(A, B) = \{C_1, C_2, \ldots, C_c\}$ die Menge derjenigen X_i, die in A, aber nicht in B als Faktoren auftreten.

Den folgenden Ausführungen liegt ein Verfahren zur Lösung von (8) zugrunde, das von *Abraham* [1] entwickelt wurde und das mit zu den effektivsten gehört [8]. Es beruht auf drei leicht zu beweisenden Sachverhalten:

a) A und B sind orthogonal, wenn X_i in A und $\bar{X}_i$ in B als Faktoren auftreten

b) $A \vee B = A$, wenn A und B nicht orthogonal sind und $\boldsymbol{C}(A, B) = \emptyset$ ist

c) $A \vee B = A + \bar{C}_1B + C_1\bar{C}_2B + \ldots + C_1C_2 \ldots C_{c-1}\bar{C}_cB$, wenn A und B nicht orthogonal sind und $\boldsymbol{C}(A, B) \neq \emptyset$ ist.

Das Verfahren von *Abraham* ersetzt jedes A_k in (2) mit $k \geq 2$ durch Orthogonalformen

$$S_k = \sum_{D_l \in \boldsymbol{M}_k} D_l \,, \qquad \boldsymbol{M}_k \subseteq \boldsymbol{K} \,, \quad (11)$$

so daß mit $S_1 = A_1$

$$\varphi = \bigvee_{i=1}^{m} A_i = \sum_{k=1}^{m} S_k$$

gilt und die Menge

$$\boldsymbol{M}_\varphi = \{D_l, D_l \in \boldsymbol{M}_k;\, k = 1, 2, \ldots, m\}$$

aus paarweise orthogonalen Elementen von $\boldsymbol{K}$ besteht. Jede Summe S_k, $k \geq 2$, wird sukzessiv aus Summen $S_{1,k}$, $S_{2,k}$, bis $S_{k-1,k}$ mit der Eigenschaft

$$\bigvee_{i=1}^{j} A_i \vee A_k = \bigvee_{i=1}^{j} A_i + S_{j,k} \,,$$
$$S_{j,k} = \sum_{D_l \in \boldsymbol{M}_{j,k}} D_l$$

erzeugt. Der Prozeß beginnt für jedes $k = 2, 3, \ldots, m - 1$ mit $j = 1$ und endet mit $j = k - 1$; $S_{k-1,k} = S_k$. Um $\boldsymbol{M}_{j,k}$ aus $\boldsymbol{M}_{j-1,k}$ zu konstruieren, wird $\boldsymbol{C}(A_j, B)$ für $B \in \boldsymbol{M}_{j-1,k}$ gebildet. Liegt der Fall a) vor, so ist B auch Element von $\boldsymbol{M}_{j,k}$. Liegt der Fall b) vor, wird B eliminiert, es ist überflüssig für die Erzeugung von $\boldsymbol{M}_{k-1,k} = \boldsymbol{M}_k$. Im Fall c) enthält $\boldsymbol{M}_{j,k}$ die Produkte C_1B, $C_1\bar{C}_2B, \ldots, C_1C_2 \ldots C_{c-1}\bar{C}_cB$. Die vollständige Menge $\boldsymbol{M}_{j,k}$ ergibt sich, wenn diese Prozedur für jedes $B \in \boldsymbol{M}_{j,k}$ durchgeführt wird. Ausgangspunkt ist $\boldsymbol{M}_{0,k} = \{A_k\}$.

Es ist zu beachten, daß die Mengen $\boldsymbol{M}_2, \boldsymbol{M}_3, \ldots, \boldsymbol{M}_m$ unabhängig voneinander erzeugt werden und somit in beliebiger Reihenfolge ermittelt werden können. Die so erzeugten S_k sind Orthogonalformen der durch (9) definierten Booleschen Funktionen E_k.

Eine formalisierte Darstellung des Basisverfahrens erfolgt im

Algorithmus 1:

1. Initialisiere $\boldsymbol{M}_\varphi = \{A_1\}$, $k \geq 2$
2. Initialisiere $\boldsymbol{M}_{0,k} = \{A_k\}$
3. Initialisiere $\boldsymbol{M}_{j,k} = \emptyset$
4. Für alle $B \in \boldsymbol{M}_{j-1,k}$:

4.1. Sind A_j und B orthogonal, dann erweitere $\boldsymbol{M}_{j,k}$ um B und nimm ein anderes B

Tafel 1. Matrixdarstellung der Minimalpfade eines binären monotonen Systems mit dem durch Bild 1 gegebenen Zuverlässigkeitsschaltbild

A_j	X_i						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
A_1	–	1	–	–	–	–	1
A_2	–	1	–	–	1	1	–
A_3	1	–	1	–	–	–	1
A_4	1	–	–	1	–	1	–
A_5	1	–	1	–	1	1	–
A_6	1	–	–	1	1	–	1
A_7	–	1	1	1	–	1	–

Tafel 2. Anwendung von Algorithmus 1 zur Erzeugung von M_4 im Beispiel 1

$M_{j-1,4}$	Produkte B							$C(A_j, B), B \in M_{j-1,4}$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Orthogonalität
$M_{0,4} = A_4$	1	–	–	1	–	1	–	$C(A_1, A_4) = \{X_2, X_7\}$
$M_{1,4}$	1	0	–	1	–	1	–	orthogonal mit A_2
	1	1	–	1	–	1	0	$C(A_2, B) = \{X_5\}$
$M_{2,4}$	1	0	–	1	–	1	–	$C(A_3, B) = \{X_3, X_7\}$
	1	1	–	1	0	1	0	orthogonal mit A_3
$M_{3,4} = M_4$	1	0	0	1	–	1	–	
	1	0	1	1	–	1	0	orthogonal mit
	1	1	–	1	0	1	0	A_1, A_2, A_3

4.2. Erzeuge $C(A_j, B)$
4.3. Ist $C(A_j, B) = \emptyset$, entferne B und nimm ein anderes B
4.4. Ist $C(A_j, B) = \{C_1, C_2, \dots, C_c\}$, $c > 1$, erweitere $M_{j,k}$ um $\bar{C}_1 B, C_1\bar{C}_2 B, \dots, C_1 C_2 \dots C_{c-1}\bar{C}_c B$
4.5. Nimm ein anderes B
5. Ist $j < k - 1$, dann $j \leftarrow j + 1$ und gehe zu 3.
6. Erweitere M_φ um $M_{k-1,k}$
7. Ist $k < m$, dann $k \leftarrow k + 1$ und gehe zu 2.
8. Stop.

Fortsetzung von Beispiel 1:

Tafel 1 enthält die Produkte A_j entsprechend der Reihenfolge der Minimalwege (4). (Die Produkte A_j und B, $B \in M_{j-1,k}$, werden in den Tafeln 1 bis 3 dadurch charakterisiert, daß das Auftreten der Variablen $X_i(\bar{X}_i)$ bzw. ihr Fehlen in diesen Produkten durch 1(0) bzw. durch einen Strich gekennzeichnet wird.) Die Tafeln 2 bzw. 3 zeigen die Anwendung von Algorithmus 1 zur Erzeugung der Mengen M_4 bzw. M_5. Aus den Tafeln liest man ab: $M_4 = \{X_1\bar{X}_2\bar{X}_3X_4X_6,\ X_1\bar{X}_2X_3X_4X_6\bar{X}_7,\ X_1X_2X_4\bar{X}_5X_6\bar{X}_7\}$; $M_5 = \{X_1\bar{X}_2X_3\bar{X}_4X_5X_6\bar{X}_7\}$. Analog ergeben sich die übrigen Mengen, die ebenso wie M_5 nur ein Produkt enthalten:

$$M_1 = \{A_1\} = \{X_2X_7\}\ ; \qquad M_2 = \{X_2X_5X_6\bar{X}_7\}\ ;$$
$$M_3 = \{X_1\bar{X}_2X_3X_7\}\ ; \qquad M_6 = \{\bar{X}_1\bar{X}_2X_4X_5X_7\}\ ;$$
$$M_7 = \{\bar{X}_1X_2X_3X_4\bar{X}_5X_6\bar{X}_7\}\ .$$

Durch Addition aller in den $M_1, M_2, \dots, M_7$ enthaltenen Produkte erhält man die Strukturfunktion des Systems in Orthogonalform. Im Unterschied zu den 7 Summanden der Darstellung (5) enthält sie 9 Summanden.

2. Prinzipien zur effektiven Erzeugung kurzer Orthogonalformen

Im Rahmen des im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Basisverfahrens werden im folgenden Prinzipien entwickelt, die auf die Erzeugung möglichst kurzer Orthogonalformen (kleine d), aber auch auf die Reduzierung von Rechenzeit und Speicherplatzbedarf bei dem i. allg. notwendigen Rechnereinsatz hinzielen. Die beiden letztgenannten Aspekte sind umso bedeutungsvoller, da Rechenzeit und Speicherplatzbedarf bei zunehmender Komplexität der Systeme exponentiell anwachsen [3]. Die Ergebnisse werden in einem Algorithmus zur Lösung von (8) zusammengefaßt, der noch kürzere Orthogonalformen als der in [5] angegebene erzeugt.

Tafel 3. Anwendung von Algorithmus 1 zur Erzeugung von M_5 im Beispiel 1

$M_{j-1,5}$	Produkte B							$C(A_j, B), B \in M_{j-1,5}$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Orthogonalität
$M_{0,5} = \{A_5\}$	1	–	1	–	1	1	–	$C(A_1, A_5) = \{X_2, X_7\}$
$M_{1,5}$	1	0	1	–	1	1	–	orthogonal mit A_2
	1	1	1	–	1	1	0	$C(A_2, B) = \emptyset$ (B streichen)
$M_{2,5}$	1	0	1	–	1	1	–	$C(A_3, B) = \{X_7\}$
$M_{3,5}$	1	0	1	–	1	1	0	$C(A_4, B) = \{X_4\}$
$M_{4,5} = M_5$	1	0	1	0	1	1	0	orthogonal mit A_1, A_2, A_3, A_4

2.1. *Anordnung der A_j*

Bei allen Verfahren zur Erzeugung von Orthogonalformen ist eine Anordnung der Produkte A_j entsprechend der Anzahl ihrer Faktoren zweckmäßig. Produkte mit weniger Faktoren sollten vor Produkten mit mehr Faktoren stehen. Denn ist a_j die Anzahl der Faktoren von A_j und $a_{j,k}$ die Anzahl der Elemente von $C(A_j, A_k)$, so gilt stets $a_{j,k} < a_{k,j}$ für $a_j < a_k$. Somit führt eine Anordnung von A_j vor A_k zu einer geringeren Erweiterung der Menge $M_{j,k}$ beim Übergang zu $M_{j+1,k}$.
Die Anordnung der A_j entsprechend der Anzahl ihrer Faktoren ist jedoch nicht eindeutig, wenn — wie im allgemeinen der Fall — mehrere der A_j die gleiche Anzahl von Faktoren haben. Es seien also $K_1, K_2, \dots, K_r$ die Mengen der A_j mit der gleichen Anzahl von Faktoren, und k_i sei die Anzahl der Faktoren von Produkten aus K_i, $1 \leqq k_1 < k_2 < \dots < k_r \leqq n$. Ist $A_j \in K_i$ und

$$A_j = \prod_{X_l \in T_j} X_l\,, \qquad T_j = \{X_l, l \in W_j\}\,,$$

so wird für jedes X_l die Anzahl $Z(X_l)$ derjenigen Produkte aus $K_1, K_2, \dots, K_{i-1}$ ermittelt, die X_l enthalten. A_j wird mit der Summe aller dieser $Z(X_l)$ bewertet:

$$N(A_j) = \sum_{X_l \in T_j} Z(X_l)\,.$$

Es liegt nahe, die Produkte A_j innerhalb der Mengen K_i entsprechend ihrer Bewertungsziffer $N(A_j)$ in fallender Reihenfolge zu ordnen, da dann im Durchschnitt eine kleinere Mächtigkeit der Mengen $C(A_j, B)$, $B \in M_{j-1,k}$, zu erwarten ist. Dies führt innerhalb der Mengen K_i, $i = 2, 3, \dots, r$, zu dem Ordnungsprinzip (O_1).

(O_1): A_j steht vor A_k, wenn $N(A_j) > N(A_k)$; $A_j \in K_i$, $A_k \in K_i$, ist.

Da durchaus der Fall $N(A_j) = N(A_k)$ für $j \neq k$ eintreten kann, liefert auch (O_1) i. allg. keine vollständige Ordnung der Mengen K_i, $i = 2, 3, \dots, r$. Seine Anwendung in Verbindung mit Algorithmus 1 bringt jedoch im Durchschnitt eine Kürzung der Orthogonalformen um 10%. Im Einzelfall können aber auch gegenteilige Effekte auftreten. Neben (O_1) sind auch andere sinnvolle Ordnungsprinzipien innerhalb der K_i möglich. (O_1) hat sich jedoch als besonders günstig erwiesen [11]. Es sei darauf hingewiesen, daß durch (O_1) für K_1 keine (Halb-)Ordnung festgelegt wird.

2.2. *Ordnung der Mengen $C(A_j, B)$*

Das Basisverfahren erzeugt Mengen $C(A_j, B)$, $B \in M_{j-1,k}$, und verarbeitet diese weiter mit der durch den Algorithmus vorgegebenen Reihenfolge der Variablen X_i in den $C(A_j, B)$. Das Basisverfahren ist jedoch nicht an eine bestimmte Ordnung der $C(A_j, B)$ gebunden. Diese kann vielmehr so gewählt werden, daß beim Übergang von $M_{j-1,k}$ zu $M_{j,k}$ Mengen $M_{j,k}$ mit möglichst geringer Mächtigkeit entstehen. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte eine Ordnung der Variablen innerhalb der $C(A_j, B)$ entsprechend Schritt 4. von Algorithmus 1 folgenden Forderungen genügen:

I) Die Produkte $B \in M_{j-1,k}$ sind mit möglichst vielen der $A_j, A_{j+1}, \dots, A_{k-1}$ orthogonal.

II) Die Produkte $B \in M_{j-1,k}$ haben möglichst viele gemeinsame Variable mit denjenigen der $A_j, A_{j+1}, \dots, A_{k-1}$, die nicht orthogonal mit B sind.

Es sei $C(A_j, B) = \{C_1, C_2, \dots, C_c\}$, $B \in M_{j-1,k}$, und a_i die Anzahl derjenigen $A_{j+1}, A_{j+2}, \dots, A_{k-1}$, in denen C_i als Faktor auftritt und die nicht orthogonal mit B sind. Das folgende Ordnungsprinzip (O_2) genügt weitgehend den Forderungen I) und II).

(O_2): Gilt $a_{i_1} \geqq a_{i_2} \geqq \dots \geqq a_{i_c}$, dann wende im Schritt 4. von Algorithmus 1 die Menge $C(A_j, B)$ in der Form $C(A_j, B) = \{C_{i_1}, C_{i_2}, \dots, C_{i_c}\}$ an.

2.3. *Entfernung von irrelevanten Variablen und Produkten*

Eine weitere Möglichkeit der Erzielung kürzerer Orthogonalformen als bei Anwendung von Algorithmus 1 ergibt sich aus einer Analyse der durch (9) definierten Booleschen Funktionen E_k; denn diese E_k sind den Summen S_k (siehe (11)) logisch äqui-

$A_{i,7}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
$A_{1,7}$	–	–	–	–	–	–	1
$A_{2,7}$	–	–	–	–	1	–	–
$A_{3,7}$	*1	–	–	–	–	–	1
$A_{4,7}$	1	–	–	–	1	–	–
$A_{5,7}$	*1	–	–	–	1	–	–
$A_{6,7}$	*1	–	–	–	1	–	1

Tafel 4. Reduzierte Ausgangsprodukte zur Erzeugung von M_7 im Beispiel 1

(k_E, k_A)	m	d_1	d_2	Δ
(8, 9)	92	528	317	40%
(5, 6)	54	729	399	45%
(6, 9)	85	792	420	47%
(3, 8)	127	1353	732	46%
(1, 10)	151	2135	1103	48%

Tafel 5. Vergleich der Anzahlen orthogonaler Summanden bei Anwendung der Algorithmen 1 und 2 im Beispiel 2

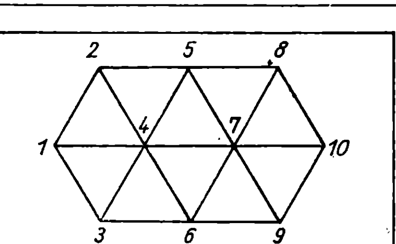


Bild 2. Ungerichteter Graph mit 10 Knoten und 19 Kanten (Beispiel 2)

valent. Es zeigt sich nämlich, daß gewisse Variable X_j und Produkte A_i zur Charakterisierung der E_k überflüssig sein können. Zur Ermittlung solcher X_j und A_i sei $C(A_i, A_k) = \{C_1, C_2, \ldots, C_c\}$ und $\{Y_1, Y_2, \ldots, Y_y\}$ sei die Menge derjenigen X_j, die sowohl in A_i als auch in A_k auftreten. Dann gilt

$$A_i = \prod_{s=1}^{c} C_s \prod_{t=1}^{y} Y_t .$$

Wegen $\bar{Y}_t A_k = 0$ und den de Morganschen Regeln gilt

$$\bar{A}_i A_k = [(\bigvee_{s=1}^{c} \bar{C}_s) \vee (\bigvee_{t=1}^{y} \bar{Y}_t)]\, A_k = \bigvee_{s=1}^{c} \bar{C}_s A_k .$$

Daher haben die Variablen Y_t keinen Einfluß auf $\bar{A}_i A_k$ und können entfernt werden:

$$\bar{A}_i A_k = \bar{A}_{i,k} \bar{A}_k \quad \text{mit} \quad A_{i,k} = \prod_{C_i \in C(A_i, A_k)} C_i .$$

Wendet man diese Beziehung für alle $i = 1, 2, \ldots, k-1$ an, ergibt sich

$$E_k = \bar{A}_{1,k} \bar{A}_{2,k} \cdots \bar{A}_{k-1,k} A_k . \tag{12}$$

Gilt $\bar{A}_{i,k} \bar{A}_{l,k} = \bar{A}_{l,k}$ oder, damit äquivalent,

$$A_{i,k} \vee A_{l,k} = A_{l,k} \quad \text{für ein } l \text{ mit } \; l \neq i , \; 1 \leqq l \leqq k-1 , \tag{13}$$

dann ändert sich E_k nicht, wenn in (12) $A_{i,k}$ entfernt wird. Entfernt man in (12) alle $A_{i,k}$ mit der Eigenschaft (13), ergibt sich schließlich

$$E_k = \bar{A}_{i_1,k} \bar{A}_{i_2,k} \cdots \bar{A}_{i_r,k} A_k , \quad 1 \leqq r \leqq k-1 . \tag{14}$$

Daher sind zur Erzeugung der E_k und damit der S_k nur die Produkte $A_{i_1}, A_{i_2}, \ldots, A_{i_r}$ notwendig.
Tafel 4 zeigt die zum Beispiel 1 gehörigen Produkte $A_{i,7}$. Es zeigt sich, daß $A_{3,7}$, $A_{5,7}$ und $A_{6,7}$ zur Erzeugung von M_7 nicht notwendig sind (Markierung durch einen Stern), da die Beziehung (13) für $A_{3,7}$ mit $l = 1$, für $A_{5,7}$ mit $l = 2$ und für $A_{6,7}$ mit $l = 1$ sowie $l = 2$ erfüllt ist. Die Anwendung von Algorithmus 1 führt jetzt in drei einfachen Schritten zu

$$M_7 = \{\bar{X}_1 X_2 X_3 X_4 \bar{X}_5 X_6 \bar{X}_7\} .$$

Der folgende Algorithmus 2 zur Erzeugung von M_φ beruht auf Algorithmus 1, den Ordnungsprinzipien (O_1) und (O_2) sowie der reduzierten Darstellung (14) der E_k.
Diejenigen A_i, die zur Erzeugung der E_k unnötig sind, werden markiert. Daher ist im Algorithmus 2 mit $C(A_j, B) = \{C_i\}$, $B \in M_{j-1,k}$, a_i die Anzahl derjenigen unmarkierten A_l, $j+1 \leqq l \leqq k-1$, die nicht mit B orthogonal sind und die C_i als Faktor enthalten.

Algorithmus 2:

0. Ordne die A_j entsprechend Abschnitt 2.1.
1. Initialisiere $M_\varphi = \{A_1\}$, $k \geqq 2$
2. Markierung der A_l:
2.1. Erzeuge $A_{j,k}$ für alle j mit $1 \leqq j \leqq k-1$
Initialisiere $i = 1$; alle A_j mit $1 \leqq j \leqq k-1$ sind unmarkiert
2.2. Existiert ein unmarkiertes A_l, $1 \leqq l \leqq k-1$, mit der Eigenschaft $A_{i,k} \vee A_{l,k} = A_{l,k}$, dann markiere A_i
2.3. Ist $i < k-1$, dann $i \leftarrow i+1$ und gehe zu 2.2.
3. Initialisiere $M_{0,k} = \{A_k\}$, $j = 1$
4. Initialisiere $M_{j,k} = \emptyset$
5. Ist A_j markiert, dann bezeichne $M_{j-1,k}$ mit $M_{j,k}$ und gehe zu 7.
6. Für alle $B \in M_{j-1,k}$:
6.1. Sind A_j und B orthogonal, dann erweitere $M_{j,k}$ um B und nimm ein anderes B
6.2. Erzeuge $C(A_j, B)$
6.3. Ist $C(A_j, B) = \emptyset$, dann entferne B und nimm ein anderes B
6.4. Ist $C(A_j, B) = \{C_1\}$, gehe zu 6.6.
6.5. Ist $C(A_j, B) = \{C_1, C_2, \ldots, C_c\}$, $c > 1$, bestimme die a_i und ordne sie in fallender Reihenfolge: $a_{i_1}, a_{i_2}, \ldots, a_{i_c}$
6.6. Erweitere $M_{j,k}$ um $\bar{C}_{i_1} B$, $C_{i_1} \bar{C}_{i_2} B, \ldots, C_{i_1} C_{i_2} \ldots C_{i_{c-1}} \bar{C}_{i_c} B$
6.7. Nimm ein anderes B
7. Ist $j < k-1$, dann $j \leftarrow j+1$ und gehe zu 4.
8. Erweitere M_φ um $M_{k-1,k}$
9. Ist $k < m$, dann $k \leftarrow k+1$ und gehe zu 2.1.
10. Stop.

Beispiel 2:

Bild 2 zeigt einen ungerichteten Graphen mit 10 Knoten und 19 Kanten. Je nach dem, welcher Knoten als Eingangsknoten k_E bzw. als Ausgangsknoten k_A gewählt wird, kann dieser Graph das Zuverlässigkeitsschaltbild mehrerer Systeme darstellen. Tafel 5 enthält für einige dieser Systeme die Anzahlen d_1 bzw. d_2 der Summanden in den Orthogonalformen, die durch die Algorithmen 1 bzw. 2 erzeugt werden. Darüber hinaus zeigt Spalte 1 von Tafel 5 die Anzahlen m der zugehörigen minimalen Pfadmengen und Spalte 4 den prozentualen Rückgang Δ der Anzahl der orthogonalen Summanden, wenn anstelle von Algorithmus 1 der Algorithmus 2 angewendet wird ($\Delta = (d_1 - d_2)/d_1 \cdot 100\%$). In den Beispielen erzeugt also Algorithmus 2 durchschnittlich 45% weniger Summanden als Algorithmus 1. Dieser quantitative Effekt konnte in zahlreichen weiteren Beispielen beobachtet werden [11].

Zusammenfassung

Die Strukturfunktion eines binären monotonen Systems sei in der disjunktiven Normalform gegeben, die auf den minimalen Pfadmengen beruht. Das im Beitrag behandelte Problem besteht darin, ausgehend von dieser Darstellung der Strukturfunktion eine Orthogonalform, daß heißt, eine disjunktive Normalform mit orthogonalen Summanden zu erzeugen. Die Orthogonalform erlaubt bei unabhängigen Elementen einen unmittelbaren Übergang zur numerischen Zuverlässigkeitsanalyse. Der vorgestellte Algorithmus ist schneller als die bisher bekannten effektivsten Verfahren zur Erzeugung von Orthogonalformen und liefert im Durchschnitt 45% weniger Summanden. Beide Eigenschaften des Algorithmus erlauben die exakte Zuverlässigkeitsanalyse immer komplizierterer Systeme.

Literatur

[1] *Abraham, J. A.:* An improved algorithm for network reliability. IEEE Trans. Reliab. 28 (1979), pp. 58–61.
[2] *Aggarwal, K. K.; Misra, K. B.; Gupta, J. S.:* A fast algorithm for reliability evaluation. IEEE Trans. Reliab. 24 (1975), pp. 83–85.
[3] *Ball, M. O.:* Computational complexity of network reliability analysis: An overview. IEEE Trans. Reliab. R-35 (1986) 3, pp. 230–239.
[4] *Beichelt, F.; Franken, P.:* Zuverlässigkeit und Instandhaltung. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
[5] *Beichelt, F.; Sproß, L.:* An effective method for reliability analysis of complex systems. J. Inf. Process. Cybern. (EIK) 23 (1987) 4/5, pp. 227–235.
[6] *Bennets, R. G.:* On the analysis of fault trees. IEEE Trans. Reliab. 24 (1975), pp. 175–185.
[7] *Fratta, L.; Montanari, U. G.:* A Boolean algebra method for computing the terminal reliability in a communication network. IEEE Trans. Circuit Theory 20 (1973), pp. 203–211.
[8] *Locks, M. O.:* Recursive disjoint products: A review of three algorithms. IEEE Trans. Reliab. 31 (1982), pp. 33–35.
[9] *Rai, S.; Aggarwal, K. K.:* An efficient method for reliability evaluation of a general network. IEEE Trans. Reliab. 27 (1978), pp. 206–209.
[10] *Schneeweiß, W. G.:* Disjoint Boolean products via Shannon expansion. IEEE Trans. Reliab. 33 (1984), pp. 329–332.
[11] *Sproß, L.:* Effektive Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse stochastischer Netzstrukturen. Dissertation A, Ingenieurhochschule Mittweida, 1988.
[12] *Tiwari, K. K.; Verma, M.:* An algebraic technique for reliability evaluation. IEEE Trans. Reliab. 29 (1980), pp. 311–313.
[13] *Torrey, J.:* A pruned tree approach to reliability computation. IEEE Trans. Reliab. 32 (1983), pp. 170–174. msr 8665

J. Hoffmann

Meßeinrichtung zur Bestimmung von Parametern grobdisperser Stoffsysteme

0. Einleitung

Bei zahlreichen Prozessen in der chemischen Industrie, der Pharmazie, dem Bauwesen und anderen Bereichen ist eine ständige Qualitätskontrolle von grobdispersen Zwischen- und Endprodukten notwendig. Hier interessieren vor allem die Partikelgrößen- und Massenverteilung, die durchschnittliche Partikelgröße, deren Streuung usw. Für eine optimale Prozeßsteuerung sollten diese Parameter in relativ kurzer Zeit zur Verfügung stehen. Diese Forderung kann von den zur Zeit verwendeten Methoden, wie der Sieb- und der Schlemmanalyse, oft nicht erfüllt werden. Mit der neuen rechnergestützten Meßeinrichtung werden die Meßbereiche der beiden genannten Verfahren nahezu überdeckt, die Meßergebnisse stehen in wesentlich kürzerer Zeit (Sekunden bis einige Minuten), genauer und in feiner abgestuften, stufenlos veränderbaren Klassen zur Verfügung. Das der Meßeinrichtung zugrunde liegende Verfahren beruht, wie bei der Schlemmanalyse auf der größenabhängigen Fallzeit von Partikeln. Es werden das Überschichtungsverfahren und ein speziell hierfür entwickelter Infrarotsensor verwendet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Tabellenform oder als Säulendiagramm auf einem Bildschirm, über Drucker oder Plotter.

1. Beschreibung des Meßverfahrens

Das Prinzip der Messung beruht auf der Ausblendung eines repräsentativen Ausschnittes sedimentierender Partikel, ohne die Störung der Sedimentation dieser Partikel selbst, bei Anwendung einer reinen Laufzeitmessung (Überschichtungsverfahren). Bild 1 zeigt den Sensor und die Gesamtanordnung mit dem Einfüllmechanismus. Der Abstand der scharfen Kanten des Sensors legt die Breite des repräsentativen Ausschnittes fest, der aus den sedimentierenden Partikeln herausgeschnitten wird. Die maximale Tiefe wird durch die Breite der lichtempfindlichen Fläche des Empfängerbauelementes begrenzt. Die Höhe dieser Fläche liefert keinen verwertbaren Beitrag zum Meßeffekt. Sie bewirkt lediglich einen Empfindlichkeitsabfall und Koinzidenzanstieg. Die theoretisch optimale Lösung wäre ein differentiell dünner Empfängerstreifen. In der Praxis muß man jedoch mit einem Meßvolumen rechnen, in dem die Partikel einzeln optoelektronisch registriert werden. Nach einer Vorverarbeitung, die im Prinzip eine fehlerkorrigierende Koinzidenzerkennung und Impulsformung ist, werden die den Partikeln entsprechenden Impulse in jeweils kurzen, lückenlos aufeinanderfolgenden Zeitintervallen gezählt sowie Anzahl und intervallzugehörige Sedimentationszeit registriert. Dieses Verfahren wurde zum Patent angemeldet [1]. Aus den aufgenommenen Meßwerten sowie einmalig in den Rechner einzugebenden Rahmenparametern, wie Temperatur, Sedimentationshöhe usw., werden die Meßergebnisse errechnet.

2. Koinzidenzerkennung

Bei der Zählung einzelner Partikel ist der Koinzidenzfehler besonders zu beachten. Mit Koinzidenz wird hier der gleichzeitige Aufenthalt von mehreren Partikeln im Meßvolumen bezeichnet. Diese würden ohne Koinzidenzerkennung als ein Partikel registriert werden. Es entstünde ein negativer Fehler, weshalb die Partikelzählung bisher nur für seltene Ereignisse genutzt wurde. Mit einer neu entwickelten Anordnung [2] läßt sich diese Einschränkung aufheben. Hier wird die Tatsache genutzt, daß koinzidierende Partikel bei ihrem Eintritt in das Meßvolumen auf den Anstiegs- und Abfallflanken der am Sensorausgang entstehenden Impulse jeweils ihrer Anzahl entsprechende Amplitudenänderungen hervorrufen. Wie aus Bild 2

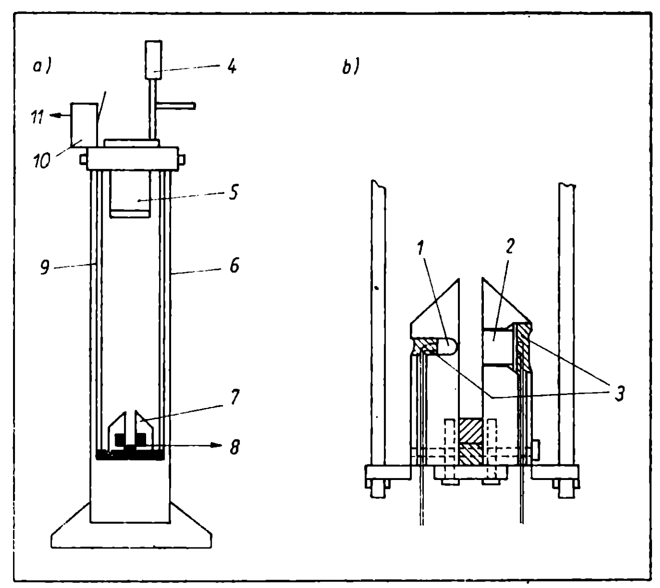


Bild 1. Sensoraufbau

a) Sensor mit Einfüllmechanismus; b) Sensorelement

1 Infrarot-LED VQ 110; 2 Fotodiode Sp 101; 3 Vergußmasse; 4 Starthebel; 5 Probenbehälter; 6 Zylinder; 7 Sensorelement; 8 zur Meßwertvorverarbeitung; 9 Stäbe zur Höheneinstellung; 10 Mikrotaster; 11 zum Rechner

am Beispiel von zwei Partikeln ersichtlich ist, können bei einmaliger Differenzierung die sich bei ihrem Eintritt nicht überlappenden Partikel ohne weiteres detektiert werden. Bei zweimaliger Differenzierung werden sowohl die sich nicht überlappenden als auch die sich überlappenden Partikel in ihrer Anzahl exakt bestimmt. Das gleiche gilt für eine höhere Anzahl koinzidierender Partikel.

Um die Wirksamkeit der Koinzidenzerkennung zu überprüfen, wurden bei jeweils gleicher durchschnittlicher Konzentration das einmal differenzierte und das nichtdifferenzierte Sensorsignal verglichen. Als Maß für die Konzentration dient die eingefüllte Probenmenge. Die Verläufe sind im Bild 3 dargestellt. Der Abstand der beiden Kurven entspricht dem Koinzidenzfehler und nimmt mit steigender Konzentration erwartungsgemäß zu. Koinzidenzen sich überlappender Partikel, die mit einer nicht vernachlässigbaren Wahrscheinlichkeit bei größeren Konzentration auftreten, werden durch eine zweite Differenzierung, wie beschrieben, vermieden.

3. Berechnung der Meßergebnisse

Für die Ergebnisberechnung werden vor Beginn der ersten Messung folgende Parameter im Dialogbetrieb in den Rechner eingegeben:

- Temperatur der Sedimentationsflüssigkeit
- Dichte des Probenmaterials
- gewünschte Klassenbreite
- gewünschte maximale Klassenanzahl
- Sedimentationshöhe.

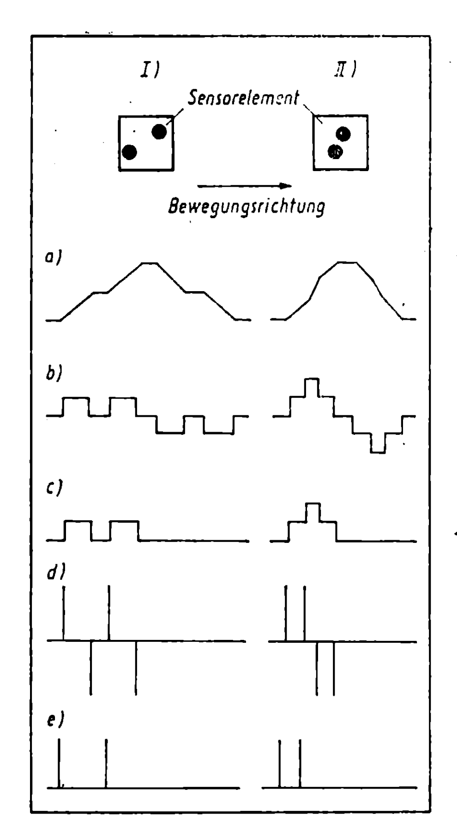
Softwareseitig sind weiter die Dichte und Viskosität der Sedimentationsflüssigkeit vereinbart.

Bei den durchgeführten Versuchen wurde gefiltertes Wasser benutzt. Die Berechnung der Partikelgrößen erfolgt mit Hilfe der in [3] modifizierten Beziehung,

$$d = \sqrt{\frac{c_W \cdot h \cdot \eta}{t \cdot (\varrho_p - \varrho_s) \cdot g}}, \qquad (1)$$

d kugeläquivalenter Durchmesser; c_W Korrekturfaktor; h Sedimentationshöhe; η Viskosität der Sedimentationsflüssigkeit; t Sedimentationszeit; ϱ_p Dichte der Partikel; ϱ_s Dichte der Sedimentationsflüssigkeit; g Erdbeschleunigung

Dipl.-Ing. *Jörg Hoffmann* (27) erlernte den Beruf eines BMSR-Technikers. Von 1981 bis 1985 Studium der Technischen Kybernetik und Automatisierungstechnik an der Technischen Hochschule Leipzig. Seit 1985 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl Meßtechnik der Sektion Automatisierungsanlagen dieser Hochschule.



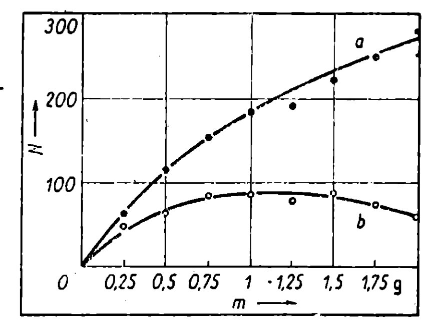


Bild 3. Meßwertverläufe
a) bei einmaliger Differenzierung; b) ohne Differenzierung
m Masse der eingefüllten Probe; N registrierte Partikelanzahl

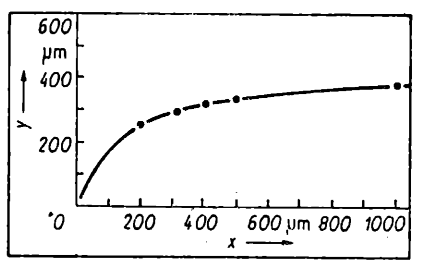


Bild 4. Verlauf der unkorrigierten Meßergebnisse
x eingegebene Partikelgröße; y gemessene Partikelgröße

Bild 2. Funktionsweise der Koinzidenzerkennung
I) bei sich nicht überlappenden Partikeln; II) bei sich überlappenden Partikeln
Spannungsverlauf a) nach dem Sensor; b) nach der 1. Differenzierung; c) nach der 1. Gleichrichtung; d) nach der 2. Differenzierung; e) nach der 2. Gleichrichtung

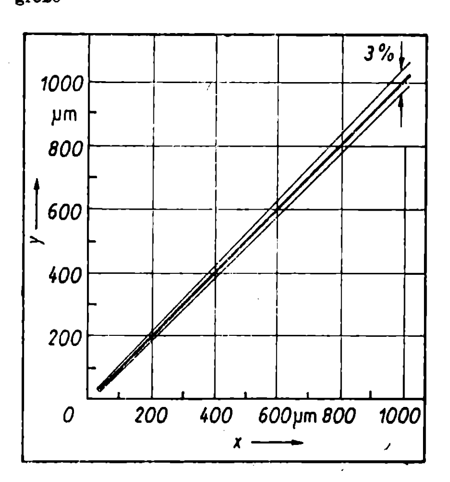


Bild 5. Verlauf der korrigierten Meßergebnisse
x eingegebene Partikelgröße; y gemessene Partikelgröße

wobei c_w ein Korrekturfaktor für die Reibung kleiner Teilchen ist. Für diesen Faktor wurde der gleiche Wert benutzt, der in [3] für die Pipettmethode nach *Andreasen* angegeben wurde. Da dieses Verfahren im Gegensatz zu dem hier vorgestellten von einer angenommenen Gleichverteilung der Partikel im Zylinder zu Meßbeginn ausgeht, entfällt hier die Phase, in der sich die Probe in der Flüssigkeit entfaltet. Beim Überschichtungsverfahren ist bis zur Entfaltung die Reibungsfläche zwischen dem Sedimentationsmedium und der an der Probe haftenden Flüssigkeitsschicht aufgrund der noch hohen Konzentration der Probe relativ gering, so daß eine erhöhte Fallgeschwindigkeit entsteht. Daraus resultiert, daß sich die Ergebnisse nach (1) leicht zu höheren Durchmessern hin verschieben. Diese Erhöhung muß mit sinkender Partikelgröße wachsen, da auch das Verhältnis der wirksamen Flächen nach und vor der Entfaltung wächst. Die Messungen bestätigen den entsprechenden Verlauf. Bis zu einer Partikelgröße von etwa 300 µm liegt das Resultat nach (1) über dem entsprechenden Wert. Bestätigt wurde auch die Reproduzierbarkeit dieses Einflusses, so daß er bei einer allgemeinen Kennlinienkorrektur eliminiert werden kann.

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität der Sedimentationsflüssigkeit hat einen starken Einfluß auf das Meßergebnis. Mit Hilfe der in [4] angegebenen Temperatur- und Viskositätswerte für Wasser ergibt sich

$$\eta = a \cdot e^{-\frac{T}{b + \frac{T}{c}}} . \tag{2}$$

$a = 1{,}792$; $b = 29{,}4585$; $c = 3{,}90403$; η Viskosität (in cP); T Temperatur (in °C)

Über diese Beziehung werden die der aktuellen Temperatur entsprechenden Viskositätswerte ermittelt und in (1) eingesetzt. (1) gilt zunächst nur für den Gültigkeitsbereich des Stokesschen Gesetzes (Partikelgrößen <100 µm). Um die Meßeinrichtung auch für Partikelgrößen oberhalb dieses Bereiches nutzbar zu machen, müssen die Resultate gemäß (1) einer Korrekturrechnung unterzogen werden. Hierzu wurden unkorrigierte Meßergebnisse von gesiebtem Sand aufgenommen. Die als Stützpunkte der Korrekturfunktion benutzten Meßwerte sind die mit der geringsten Klassenbreite ausgemessenen größten Partikel der jeweils verwendeten Sandfraktion. Die Werte der größten Partikel wurden benutzt, um eventuelle Fehler bei zu kurzer Siebdauer der als Kalibriersubstanz benutzten Sandfraktion auszuschließen.

Der Verlauf der unkorrigierten Meßergebnisse (Resultate nach (1)) ist im Bild 4 dargestellt.

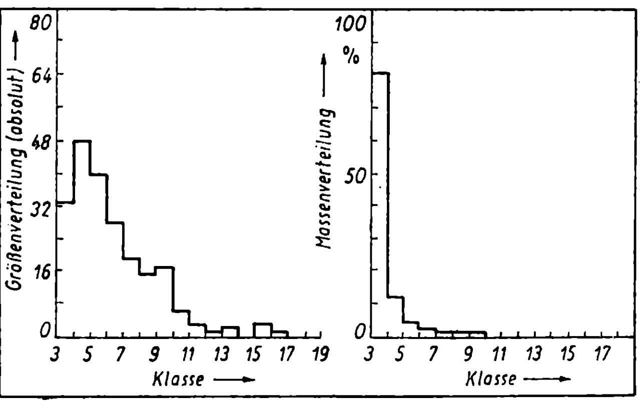
Aus der Fehlerkurve wurde eine Korrekturfunktion $d_{korr} = \varphi(d)$ ermittelt, die aus einem Polynom 5. Grades und zwei Geradenfunktionen besteht. Bild 5 zeigt den Verlauf der mit Hilfe dieser Funktion korrigierten Resultate nach (1). Die Toleranzgrenzen kennzeichnen die durchschnittliche Abweichung der Meßergebnisse vom Mittelwert.

Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, bezogen auf eine Klasse, ist gegenwärtig besser als 5%. Bezogen auf die durchschnittliche Partikelgröße ist die Unsicherheit kleiner als 3%. In der Tafel und im Bild 6 wird ein vollständiges Meßergebnis wiedergegeben.

Zusammenfassung

Mit der vorgestellten Meßanordnung können Partikelgrößen vom Mikrometer- bis in den Millimeterbereich mit einem Sensor ausgemessen werden. Von der Probe ist lediglich zu fordern, daß sie eine einheitliche Dichte hat, in der verwendeten Sedimentationsflüssigkeit sedimentiert und nicht quillt oder ausflockt. Eine Massenbestimmung ist nicht erforderlich. Die

Bild 6. Verteilungsfunktionen von Ostseesand



Tafel. Verteilungsfunktionen von Ostseesand

Klasse	Größe bis (μm)	Durchschnittliche Größe (μm)	Anzahl	Anzahl (%)	Masse (g)	Masse (%)
Temperatur/°C					20	
Dichte der Partikel/g/cm³					2,65	
Klassenbreite/1/10 s					10	
maximale Klassenanzahl					18	
Sedimentationshöhe/mm					280	
Durchschnittliche Partikelgröße/μm					298,125	
Streuung der Partikelgröße/μm					188,967	
Gesamtanzahl der ausgemessenen Partikel					216	
Masse der ausgemessenen Partikel/g					0,0203316	
1	2694,80	–	0	0	0	0
2	1059,05	1876,93	0	0	0	0
3	364,565	711,808	33	15,2778	0,0165138	81,2223
4	299,711	332,138	48	22,2222	2,44030E-03	12,0025
5	190,656	245,184	40	18,5185	8,18051E-04	4,02354
6	174,045	182,351	28	12,9630	2,35572E-04	1,15865
7	161,134	167,589	19	8,79630	1,24090E-04	0,61033
8	150,727	155,931	15	6,94445	7,89096E-05	0,38811
9	142,107	146,417	17	7,87037	7,40403E-05	0,36416
10	134,815	138,461	6	2,77778	2,20992E-05	0,10869
11	128,541	131,678	3	1,38889	9,50388E-06	0,04674
12	123,068	125,804	1	0,46296	2,70269E-06	0,01359
13	118,240	120,654	2	0,92593	4,87418E-06	0,02397
14	113,939	116,090	0	0	0	0
15	110,076	112,007	3	1,38889	5,84932E-06	0,02877
16	106,580	108,328	1	0,46296	1,76387E-06	8,67548E-03
17	103,398	104,989	0	0	0	0
18	100,485	101,941	0	0	0	0

Sedimentationsflüssigkeit ist entsprechend der Probe wählbar, wobei ihre Parameter in das Rechenprogramm eingegeben werden. Der Ablauf einer Messung einschließlich der Ergebnisberechnung, -korrektur und -anzeige erfolgt vollautomatisch. Aufgrund der vergleichsweise kurzen Meßzeit (Sekunden bis Minuten), praktisch keiner Probenvorbereitung und der Möglichkeit, die Meßeinrichtung auf eine spezielle Substanz hin zu kalibrieren, eignet sie sich vor allem für Routineuntersuchungen, die On-line-Bedingungen nahekommen. Qualitätskontrolle und -überwachung von Produkten der chemischen und pharmazeutischen Industrie, im Bauwesen usw. sind naheliegende Anwendungsgebiete.
Die erzielten Parameter, die relativ niedrigen Kosten für Sensor und Vorverarbeitungselektronik sind eindeutige Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren.

Abschließend möchte ich Herrn Prof. Dr. sc. techn. *We. Richter* und Herrn Doz. Dr. sc. techn. *Wo. Richter* für die fördernde Diskussion über die Ergebnisse danken.

Literatur

[1] *Hoffmann, J.*: Verfahren zur automatischen Bestimmung der Partikelgrößenverteilung grobdisperser einkomponentiger Stoffsysteme. WP G01N 2934977 vom 7. August 1986.
[2] *Hoffmann, J.*: Anordnung zur Erhöhung der Meßgenauigkeit bei Einzelteilchenmeßverfahren. WP G01N 2952745 vom 15. Oktober 1986.
[3] *Reuter, G.*: Gelände- und Laborpraktikum der Bodenkunde. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1967.
[4] *Mende, D.; Simon, G.*: Physik — Gleichungen und Tabellen. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1969. msr 8679

J. Lunze

Wissensbasierte Systeme Teil 2: Einsatzmöglichkeiten in der Automatisierungstechnik[1]

5. Charakteristika wissensbasierter Systeme

Die Einsatzgebiete wissensbasierter Systeme werden maßgeblich durch die inhaltlichen Charakteristika derartiger Systeme bestimmt. Darüber hinaus gibt es softwaretechnologische Unterschiede zwischen wissensverarbeitenden und Datenverarbeitungssystemen. In der folgenden Zusammenstellung wird versucht, eine klare Trennung zwischen beiden Aspekten vorzunehmen, da dies aus der Sicht der potentiellen Anwender wissensbasierter Systeme sehr wichtig ist.
Die **inhaltlichen Charakteristika** ergeben sich aus der Tatsache, daß wissensbasierte Systeme für die Wissensverarbeitung (anstelle der numerischen Datenverarbeitung) ausgelegt sind.

– Wissensbasierte Systeme sind vor allem zur Verarbeitung symbolischer, nichtnumerischer Informationen geeignet. In ihnen sind Daten *und* Muster gespeichert.
– In den gespeicherten Beziehungen zwischen den Daten sind Verarbeitungshinweise für die Daten selbst enthalten. Da die Verkettung der Operationen unter Nutzung dieses Kontrollwissens situationsbezogen erfolgt, ist der Aufbau von KI-Systemen nicht durch eine vorgegebene Folge von Operationen bestimmt, wie das bei Algorithmen der numerischen Datenverarbeitung der Fall ist.
– Schlußfolgern ist die „Haupttätigkeit" wissensbasierter Systeme. Ihre Arbeit wird in starkem Maße durch heuristische Methoden gelenkt. Eine Vielzahl neuartiger Probleme wird deshalb durch wissensbasierte Systeme rechnergestützt lösbar gemacht.
– Die Anwendung wissensbasierter Systeme führt auf das Repräsentationsproblem für Problemlösungsaufgaben: Die zu lösende Aufgabe muß in eine Wissensbasis, Verarbeitungsregeln und Kontrollstrategien transformiert werden.

Die **softwaretechnologischen Aspekte** wissensbasierter Systeme folgen aus der Trennung von Wissensdarstellung und Wissensverarbeitung.

– Wissensbasierte Systeme bestehen aus der Wissensbasis und einer Problemlösungskomponente, die getrennt voneinander entwickelt (und programmiert) werden können. Daraus resultiert eine große Flexibilität, die in der Verwendung derselben Verarbeitungsmechanismen auf unterschiedliches Wissen und damit in unterschiedlichen Anwendungsgebieten zum Ausdruck kommt.
– Durch deskriptive Programmierung erfolgt lediglich die funktionale Spezifikation, *was* getan werden soll. Prozedurale Anteile, wie sie für die konventionelle Datenverarbeitung typisch sind, treten nur für die Lösung von Teilproblemen (d. h. „lokal") auf. Die Verkettung der einzelnen Operationen erfolgt zur Laufzeit in Abhängigkeit von den verwendeten Daten.
– Die Trennung in Wissensdarstellung und -verarbeitung und die deskriptive Programmierung führen dazu, daß wissensbasierte Systeme problemlos verändert und erweitert werden können. Änderungen stoßen nicht zwangsläufig das Gesamtkonzept der Software um (wie es erfahrungsgemäß sehr häufig bei der konventionellen Datenverarbeitung geschieht). Erweiterungen, z. B. das Einfügen neuer Produktionsregeln, erfordern nur geringfügige Programmergänzungen (Hinzufügen weiterer Programmzeilen). Dies unterstützt ein empirisch-ingenieurmäßiges Vorgehen bei der Softwareerstellung (Entwickeln — Testen — Verbessern).
– Grundlage für die Wissensverarbeitung ist die Manipulation von komplexen Datenstrukturen, die nicht problemlos mit

[1]) Teil 1 erschien im Heft 10/1987.

Programmiersprachen der numerischen Datenverarbeitung verwaltet werden können. Deshalb erfordert der Aufbau wissensbasierter Systeme die Verfügbarkeit von „KI-Sprachen" (LISP, PROLOG, OPS5 u. a.).

— Wissensbasierte Systeme aufzubauen erfordert umfangreiche Programmierhilfsmittel, da gegenüber der „konventionellen" Datenverarbeitung neuartige Probleme zu lösen sind. So ist z. B. die Testbarkeit und Testung der Programme ein weitestgehend ungeklärtes Problem. Entscheidungen, die aufgrund einer großen Wissensbasis gefällt werden, sind schwer bzw. gar nicht mehr nachvollziehbar.

6. Einsatzbedingungen für wissensbasierte Systeme bei der Lösung von Steuerungsaufgaben

Eine Steuerung ist die zielgerichtete Beeinflussung der Bewegung eines dynamischen Prozesses. Die damit verbundenen Aufgaben zu lösen bedeutet, zu einem vorgegebenen, in seiner Struktur und seinen Eigenschaften weitestgehend festgelegten Prozeß (Steuerstrecke) eine zusätzliche Einheit (Steuereinrichtung) zu schaffen, mit deren Hilfe die für die Realisierung eines vorgegebenen Ablaufes bzw. für die Einhaltung von wichtigen Parametern trotz des Einwirkens von Störungen notwendigen Eingriffe in den Prozeßablauf berechnet und realisiert werden.

Eine Rechnerstützung kann sowohl in der Entwurfs- als auch in der Arbeitsphase der Steuereinrichtung erfolgen. Um die Einsatzgebiete wissensbasierter Systeme genauer zu charakterisieren, soll die Rechnerstützung in der Arbeitsphase weiter in Steuerungen unterschieden werden, bei denen über die Steuereinrichtung ein geschlossener Wirkungsablauf erreicht wird (vollautomatische Steuerung) bzw. bei denen der Anlagenfahrer durch Realisierung des (möglicherweise gegenüber dem durch den Rechner gegebenen Vorschlag veränderten) Stelleingriffes den Wirkungskreis schließt (Tafel 2).

Die folgenden Ausführungen beziehen sich vor allem auf Aufgaben der Prozeßautomatisierung. Einsatzmöglichkeiten wissensbasierter Systeme bei diskreten Fertigungsprozessen sind z. B. in [21] [33] [53] und [56] beschrieben.

Zur Charakterisierung der Einsatzgebiete wissensbasierter Systeme soll von der in Tafel 3 vorgenommenen Unterteilung des Wissens über die Lösung von Steuerungsaufgaben ausgegangen werden. Der strukturierte Teil betrifft vollständig spezifizierte Teilaufgaben. Darunter sollen diejenigen Aufgaben des Steuerungsentwurfes bzw. der Realisierung der Steuerung verstanden werden, die in ein vollständig beschriebenes mathematisches Problem überführt werden können. Modelltransformationen, Optimierungsaufgaben oder die Ausführung analytischer Tests gehören ebenso dazu, wie die organisatorischen Probleme der Datenverwaltung. Das Vorgehen beim Lösen derartiger Aufgaben ist vollständig formalisiert und in Form von Algorithmen formuliert.

Charakteristisch für den strukturierten Teil des Wissens ist, daß er sich auf klar umgrenzte Teilaufgaben bezieht, die sich nach einer sehr starken Einschränkung des Betrachtungsfeldes als das Kernproblem bzw. einen wichtigen Teilschritt der zu lösenden Aufgabe herauskristallisieren. Viele dieser Aufgaben treten wiederholt in derselben Form auf, so daß Modelle zu ihrer Beschreibung sowie Lösungsstrategien abgeleitet werden können.

Der unstrukturierte Teil des Wissens enthält die unvollständig beschriebenen Teilaufgaben, die einer algorithmischen Lösung nicht zugänglich sind. Dazu gehören insbesondere all diejenigen Kenntnisse, Erfahrungen und Ansätze, durch die der Automatisierungstechniker in der Lage ist, ein komplexes Steuerungsproblem weitgehend in vollständig spezifizierte Teilaufgaben zu zerlegen. Als Beispiele seien die Formalisierung eines Entwurfsproblems als Optimierungsaufgabe mit einem geeignet gewählten Optimierungskriterium oder die Auswahl einer Kompromißlösung entsprechend mehrerer, sich widersprechender Kriterien genannt.

Charakteristisch für den unstrukturierten Teil des Wissens ist, daß er sich auf spezifische Probleme einer bestimmten Automatisierungsaufgabe oder unvorhersehbare Situationen bezieht. Zur Lösung können allgemeingültige Strategien und Heuristik eingesetzt werden, eine vollständige Algorithmisierung ist jedoch nicht möglich.

Tafel 2. Einsatzgebiete

	Einsatzgebiete wissensbasierter Systeme für Steuerungsaufgaben	
Entwurfsphase der Steuereinrichtung	Arbeitsphase der Steuereinrichtung	
	Automatische Steuerung	Steuerung unter Mitwirkung des Menschen
Strukturierung der Automatisierungsanlage . Reglerentwurf . Software-Engineering für frei programmierbare Steuerungen	Fuzzy-Regler	. Intelligente Leitsysteme . Beratungssysteme

Tafel 3. Wissensbereiche

Wissen über die Lösung von Steuerungsaufgaben	
Strukturierter Teil	Unstrukturierter Teil
vollständig spezifizierte Teilaufgaben . algorithmische Lösung ↓ modellgestützte Verfahren	. unvollständig spezifizierte Teilaufgaben . heuristische Lösung ↓ wissensbasierte Verfahren
zum Beispiel: Transformation von Modellen	Strukturierung von Regelungen und Steuerungen
Stabilitätsprüfung	Überführung eines Steuerungsproblems in eine Optimierungsaufgabe
Steuerungsentwurf durch Optimierung	

Diese Erläuterungen lassen erkennen, daß Methoden der Wissensverarbeitung vor allem zur Formalisierung der mit dem unstrukturierten Teil des Wissens vorgenommenen Lösungsschritte eingesetzt werden müssen. Für derartige Aufgaben gibt es keine analytischen Modelle und algorithmische Lösungsverfahren. Sie fallen daher in den im Abschn. 4.1. umrissenen Aufgabenbereich für Wissensverarbeitungssysteme. Im Gegensatz dazu beruhen die Algorithmen der in Tafel 3 links gezeigten Aufgaben auf einer vollständigen Modellierung und der Umformung des Lösungsprozesses in eine Folge von Zahlenoperationen („modellgestützte Verfahren"). In dieser Etappe spielen wissensbasierte Lösungen nur dann eine Rolle, wenn die algorithmischen Lösungsverfahren für die betrachtete Problemklasse durch schnellere, ggf. jedoch nur Näherungslösungen liefernde heuristische Verfahren ersetzt werden sollen.

Die Einsatzmöglichkeiten wissensbasierter Systeme sind bei Steuerungsaufgaben — vor allem im Vergleich zu bisherigen Einsatzgebieten von Expertensystemen — durch zwei Merkmale gekennzeichnet:

- Viele Steuerungsaufgaben, insbesondere auf den prozeßnahen Ebenen, wurden und werden modellgestützt gelöst. Wissensgestützte Verfahren müssen im engen Kontakt mit diesen modellgestützten Methoden arbeiten.
- Das Steuerungsziel besteht i. allg. im Erreichen eines Ideal- oder Kompromißzustandes. Eine derartige Vorgehensweise läßt sich jedoch nicht unmittelbar in ein Problem der Wissensverarbeitung umformen (vgl. Abschn. 2.2.).

Wissensbasierte Systeme, die unter diesen Bedingungen einen wirksamen Beitrag zur Lösung von Steuerungsaufgaben leisten sollen, müssen sehr komplexe Wissensverarbeitungsprobleme zum Inhalt haben.

7. Wissensbasierte Systeme für den Entwurf der Steuereinrichtung

7.1. *Entwurfsaufgabe und Lösungsprinzipien*

Die Entwurfsaufgabe lautet:

Gegeben sind Spezifikationen für die Funktion der Steuereinrichtung, Informationen über den zu steuernden Prozeß, Komponenten, die als Bestandteile der Steuereinrichtung verwendet werden können.

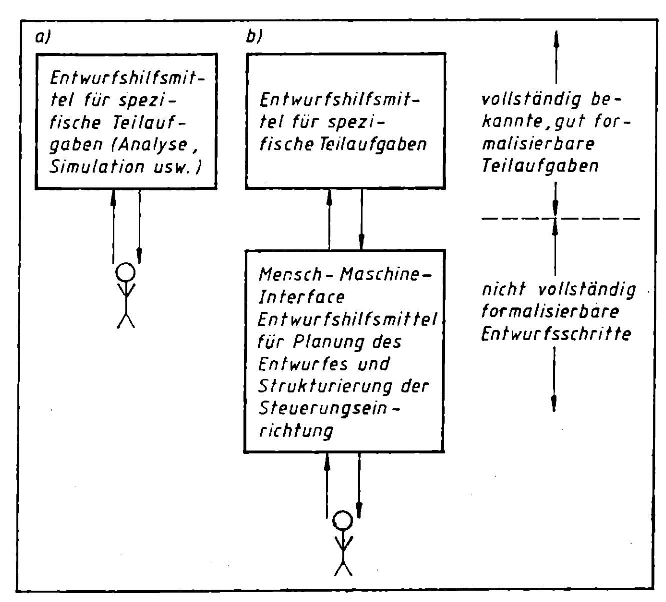


Bild 9. Struktur von Systemen des rechnergestützten Entwurfes
a) Konventionelles Entwurfssystem; b) „Intelligentes" Entwurfssystem

Gesucht ist die Beschreibung der Steuereinrichtung.

Als Ergebnis kann die Konfigurierung und Parametrierung von vorgegebenen gerätetechnischen Einheiten oder eine funktionstüchtige Software angesehen werden.
Die Entwurfsaufgabe ist meistens so komplex, daß sie nicht algorithmisch „in einem Schritt" gelöst werden kann. Typische Lösungsschritte sind deshalb die folgenden:

— *Hierarchische Zerlegung* der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben, die weitestgehend unabhängig voneinander gelöst werden können.
— *Sukzessive Verfeinerung des Entwurfsergebnisses*:
Die Spezifikationen lassen sich meist nicht direkt in die Beschreibung der Steuereinrichtung überführen. Statt dessen wird ein iterativer Weg eingeschlagen, der als **konfigurierenden** Teil die Ermittlung bzw. Modifikation eines vorläufigen Entwurfsergebnisses sowie als **analytischen** Teil die Überprüfung des Entwurfsergebnisses im Hinblick auf die Erfüllung aller gegebenen Spezifikationen und Randbedingungen umfaßt.
— *Weitestgehende Verwendung bekannter Lösungen*

Mit Hilfe dieser Lösungsprinzipien wird die Entwurfsaufgabe so zerlegt, daß formalisierbare Teilaufgaben abgeleitet werden können. Im Vergleich zu Tafel 3 gehören diese Teilaufgaben in die linke Spalte. Im Gegensatz dazu sind die o. g. Lösungsprinzipien selbst zwar ebenfalls gut bekannt. Wie sie für eine gegebene Steuerungsaufgabe eingesetzt werden, ist jedoch von der Erfahrung oder Intuition des Entwurfsingenieurs abhängig (rechte Spalte in Tafel 3).

7.2. *Gegenwärtig verwendete Formen der Rechnerstützung*

Die bisher verwendeten Hilfsmittel der Rechnerstützung gründen sich auf Algorithmen zur Lösung der gut abgrenzbaren, i. allg. numerisch handhabbaren Teilaufgaben (Bild 9a). Charakteristisch für diese Hilfsmittel sind

- ihre Beschränkung auf formal beschreibbare Problemstellungen (linke Spalte in Tafel 3)
- ihre Umsetzung durch prozedurale Programmierung (z. B. FORTRAN), das Vorhandensein starrer Schnittstellen
- ihr wenig flexibler Einsatz (trotz der Vielzahl von Funktionen ist häufig für eine konkrete Aufgabe keine geeignete Funktion verfügbar, und es sind wenige Richtlinien für die Auswahl möglicherweise geeigneter Funktionen-Folgen vorhanden).

Vom Rechner werden komplizierte Rechnungen mit großen Datenmengen oder einfache Symbolmanipulationen übernommen, so

- die Verwaltung großer Datenmengen und Berechnung komplizierter Funktionen, z. B. bei Optimierungs- und Simulationsaufgaben
- die Umwandlung einer Darstellungsform des Entwurfsobjektes in eine andere nach vorgegebenen Prozeduren, z. B. Überführung unterschiedlicher Modellformen ineinander, Zusammensetzen mehrerer Teilmodelle zu einem Gesamtsystemmodell
- die Prüfung von klar definierten Randbedingungen für das Entwurfsergebnis, z. B. Stabilitätsprüfung, Prüfung der Zeitvorgaben einer Steuerung.

Die vorhandenen Hilfsmittel stellen Methoden und Verfahren in *vorgefertigten Organisationshilfen* bereit, was z. B. in der häufig anzutreffenden Menütechnik zum Ausdruck kommt, bei der der Entwerfer eine unter mehreren vorgegebenen Entwurfshilfsmitteln oder -schritten auswählen soll. Führungssystemen mit stark strukturiertem und aufbereitetem Wissen, z. B. HELP-Files, fehlt ebenfalls die Flexibilität, die notwendig ist, um den Entwurfsingenieur seinem Problem entsprechend aus vorgearbeiteten Entwurfswegen herauszuführen.
Zur Veranschaulichung dieser globalen, im Hinblick auf den Einsatz wissensbasierter Komponenten vorgenommenen Einschätzung sei an den Ablauf des Parameterentwurfes von Mehrgrößenreglern mit der Methode der optimalen Steuerung (LQ-Regelung) erinnert. Bei dem in [2] ausführlich diskutierten Vorgehen übernimmt der Rechner die Lösung einer Optimierungsaufgabe, Simulationsaufgaben und die graphische Auswertung der Ergebnisse. Der Entwurfsingenieur hat die im Gütekriterium stehenden Wichtungsmatrizen „geeignet" vorzugeben. Dies, wie auch die vor dem Parameterentwurf liegenden Aufgaben des Strukturentwurfes (Stellgrößen — Regelgrößenzuordnung, Reglerstrukturfestlegung) sowie die Auswertung der Simulationsergebnisse im Hinblick auf die i. allg. verbal formulierten Güteforderungen sind schwer formalisierbar. Ihre Ausführung bleibt dem Entwurfsingenieur überlassen.
Aufgrund der o. g. Charakterisierung bisher eingesetzter Mittel der Rechnerstützung sind beim Reglerentwurf die heute verfügbaren Hilfsmittel auf die Unterstützung des Parameterentwurfes beschränkt. Die Verwendung von Problemlösungsmethoden läßt eine Erweiterung dieser Entwurfssysteme in Richtung Strukturentwurf erwarten.

7.3. *Intelligente Entwurfssysteme*

Der Einsatz wissensbasierter Systeme für den rechnergestützten Entwurf ist ein Gebiet, das erst in jüngster Zeit Beachtung gefunden hat. Hier kann deshalb nur auf erste Ideen hingewiesen werden. Das Ziel besteht in einer Erweiterung der heute bereits verfügbaren Entwurfshilfsmittel zu einem „intelligenten" Entwurfssystem, bei dem eine neue, wissensbasiert realisierte Komponente zwischen dem Entwurfsingenieur und den Entwurfsalgorithmen vermittelt (Bild 9b) [5]. Diese Komponente übernimmt Entwurfsschritte, die nicht vollständig formalisierbar sind. Dazu gehört die bereits erwähnte Zerlegung der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben, was sich in einer Strukturierung der Steuereinrichtung und der Planung des Entwurfes in Form von weitestgehend voneinander unabhängigen Teilschritten niederschlägt. Weitere Aufgaben der wissensbasierten Komponente sind die Registrierung und Generalisierung des Wissens und der Erfahrungen des Entwurfsingenieurs, Nutzerführung, problemangepaßte Verkettung von Teilschritten, die durch die „konventionellen" Entwurfsalgorithmen ausgeführt werden, sowie Informationsaufbereitung für eine bessere Kommunikation zwischen Entwurfsingenieur und Entwurfssystem.
Diese Erweiterung bekannter Entwurfssysteme führt dazu, daß der Entwurfsingenieur weiter als bisher von Routine- und Standardaufgaben entlastet wird, weniger Einblick in die einzelnen Entwurfsalgorithmen benötigt und sich stärker den schöpferischen Teilschritten des Entwurfes zuwenden kann.

7.4. *Teilprobleme des Entwurfs, die wissensbasiert gelöst werden können*

Als *Grobentwurf* wird die Entwurfsphase bezeichnet, in der die Gesamtaufgabe in Teilaufgaben zerlegt, die Steuereinrichtung

dementsprechend strukturiert und das weitere Entwurfsvorgehen geplant wird. Dieser Teil des Entwurfes wird weitestgehend aufgrund von Erfahrung, Intuition oder Versuch und Irrtum gelöst. Für eine wissensbasierte Entwurfsunterstützung entsteht eine relativ umfangreiche Faktenbasis durch die Zusammenfassung aller der vom Entwurfsingenieur zu beachtenden Randbedingungen, möglichen Strukturen der Steuereinrichtung „Standardlösungen", die als Vorzugsvarianten anzustreben sind, usw. Die Schwierigkeiten liegen jedoch in der Formalisierung des heuristischen Herangehens des Entwurfsingenieurs, das sich in Regeln bzw. dem Kontrollwissen niederschlagen muß. Dabei muß nach allgemeingültigem Wissen gesucht werden, das von prozeßspezifischen Eigenschaften losgelöst ist.

Um diese Schwierigkeiten zu verdeutlichen, sei auf das theoretisch gut aufbereitete Problem des Reglerentwurfs verwiesen. Das in der Phase des Grobentwurfs erforderliche Wissen betrifft mit den bereits erwähnten Fragen der Strukturierung des Reglers gerade den Teil des Gesamtproblems, für dessen Lösung es sehr wenige Methoden und Verfahren gibt und für den auch die in der Praxis eingeschlagenen Wege schwer systematisierbar sind.

In der Phase des *Feinentwurfs* werden die einzelnen Teilaufgaben weitestgehend unabhängig voneinander gelöst. Hier können lohnende Aufgaben für eine wissensbasierte Stützung des Entwurfs klarer abgegrenzt werden, da diese Teilaufgaben eng umrissen sind und als Elemente des gesamten Entwurfsprozesses häufig wiederkehren, so daß auf tiefgründige Erfahrungen des Entwurfsingenieurs zurückgegriffen werden kann.

In die Wissensbasis müssen eingehen: Informationen über das Entwurfsziel, über die verfügbaren Entwurfsverfahren einschließlich deren möglicher Verkettungen und deren Eignung zur Lösung bestimmter Problemklassen, über Standardlösungen bzw. bereits gelöste ähnliche Aufgaben. Die wissensbasierte Komponente hat für die gegebene Teilaufgabe und in Abhängigkeit von einem evtl. bereits vorliegenden Zwischenergebnis den nächsten Teilschritt des Entwurfes auszuwählen. Der modellgestützten Komponente werden das einzusetzende Verfahren und die Bezeichnung der zu verwendenden Datensätze vorgegeben (Bild 10).

Wie auf diese Weise der Mehrgrößenreglerentwurf unterstützt werden kann, ist in [57] beschrieben. Als modellgestützte Komponente wurde das Entwurfssystem der Universität Cambridge/GB eingesetzt. Die wissensbasierte Komponente soll soviel Nutzerunterstützung geben, daß der Entwurf von Nichtexperten ausgeführt werden kann. Sie enthält Regeln über die möglichen Verkettungen der einzelnen Algorithmen sowie über die sinnvolle Vorgabe von Entwurfsparametern (Abtastzeiten, Simulationszeiträume usw.) und Entwurfsforderungen (Einschwingzeit in Abhängigkeit von den Prozeßparametern). Das wichtige Problem, das die Überführung der ingenieurtechnischen Entwurfsforderungen in mathematisch behandelbare Forderungen betrifft, wurde dabei jedoch noch nicht in die Nutzerführung einbezogen. Die Automatisierung dieser bisher intuitiv durchgeführten Überführung erfordert Antworten auf Fragen, die bisher nicht untersucht wurden, z. B.: Wie kann die Vielfalt ingenieurtechnischer Entwurfsforderungen in wenige, handhabbare Forderungen zusammengefaßt werden? (Dazu gehört die Frage, welche Spezifikationen unmittelbar beim Entwurfsschritt zu berücksichtigen sind und welche nur im Analyseschritt überprüft werden müssen.) Welches Entwurfsverfahren läßt die Erfüllung der gegebenen Spezifikationen erwarten? (Auswahl eines für die zu bearbeitende Teilaufgabe zweckmäßigen Verfahrens.)

In einer ähnlichen Weise kann das Expertensystem MODEX [36] zum Entwurf industrieller Steuerungssoftware bezüglich der wissensbasiert realisierten Komponenten eingeordnet werden. Die Programmerstellung erfolgt durch Zusammensetzen gegebener Programmteile. Sie wird durch intelligente Syntaxkontrolle, inhaltliche Kontrolle bezüglich der Einhaltung von Beschränkungen und Regeln für die Programmierung unterstützt. Dafür ist Wissen über die Maschinencharakteristik, über Problemlösungsstrategien für teilautomatisierte Steuerungsprogramme und über die Programmierungsführung notwendig.

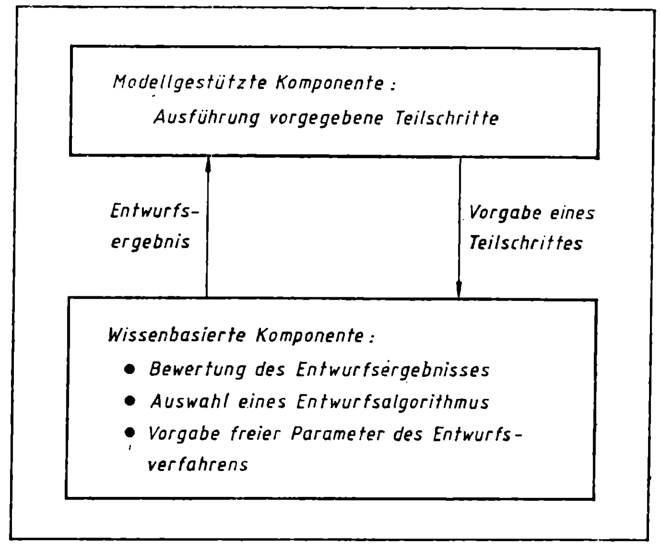


Bild 10. Unterstützung des Feinentwurfes durch wissensbasierte Komponenten

7.5. *Ausblick*

Entwurf ist eine kreative Tätigkeit. Sie mehr als bisher zu automatisieren heißt, den Teil der „intelligenten" Schritte zu formalisieren, der mit allgemeingültigem, sich nicht auf prozeßspezifische Ansätze und Vereinfachungen beziehenden Wissen ausgeführt werden kann. Voraussetzung dafür sind ein „modellgestütztes" Entwurfssystem mit einer Vielzahl von Entwurfsverfahren sowie Entwurfserfahrungen. Die zu dem Entwurfssystem hinzukommende wissensbasierte Komponente soll die Informationen über die starren Verkettungsmöglichkeiten der einzelnen Entwurfsschritte, die die Entwurfssysteme bisher nicht berücksichtigen, und die Erfahrungen des Entwurfsingenieurs ausnutzen, um die Rechnerstützung zu erweitern. Es ist offensichtlich, daß die Formalisierung des intuitiven Herangehens neuartige Probleme aufwirft, die bisher nicht ausreichend untersucht wurden, z. B. die Aufstellung von Regeln zur Strukturierung der Steuereinrichtung, insbesondere zur Beantwortung der Frage nach den notwendigen bzw. zweckmäßigen Informationsverbindungen, die innerhalb der Steuereinrichtung zu realisieren sind. Dem heuristischen Herangehen wird dadurch Rechnung getragen, daß das Ergebnis dieser Untersuchungen kein Algorithmus sein muß, sondern bereits in Regelform (5) verwendbar ist und somit aus Teilaussagen zusammengesetzt sein kann, die jeweils nur auf bestimmte Situationen anwendbar sind.

8. Wissensbasierte Systeme für Steuerungen im geschlossenen Wirkungskreis

Bei Steuerungsaufgaben der prozeßnahen Ebene ist es häufig möglich, den Prozeßbediener vollständig durch den Rechner zu ersetzen. Eine wissensbasierte Realisierung der Reglerfunktion erscheint für Prozesse sinnvoll, bei denen das Reglergesetz nicht durch Modellbildung der Regelstrecke und Reglerentwurf gewonnen werden kann. Die Gründe dafür können in der Zielstellung liegen, diesen aufwendigen Weg zu umgehen und statt dessen die Regeln zu ermitteln, nach denen sich der Anlagenfahrer (bewußt oder unbewußt) verhält. Außerdem ist eine wissensbasierte Regelung i. allg. nichtlinear und deshalb als Alternative für Aufgaben zu betrachten, bei denen die lineare oder eine eingeschränkte Klasse nichtlinearer Regler berücksichtigenden Entwurfsverfahren nicht zum Ziel führen.

Die regelorientierte Darstellung (5) des Reglergesetzes führt auf die bekannten *Klassenregler*. Der im IF-Teil erklärten Situation ist der im THEN-Teil beschriebene Stelleingriff zugeordnet. Dabei treffen die im IF-Teil stehenden Bedingungen i. allg. nicht auf einen Punkt, sondern auf ein Gebiet des Zustandsraumes zu. In der einfachsten Form kann ein solcher Regler durch eine Tabelle beschrieben werden, in der Intervallen der Regelabweichung Werte für die Stellgröße zugeordnet sind.

Werden solche Regelalgorithmen der Denkweise des Anlagenfahrers angepaßt, so sind sie *linguistische Regelalgorithmen*, bei

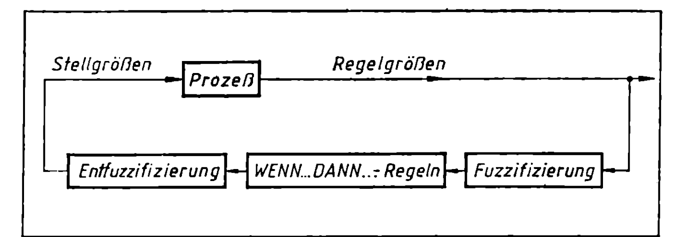


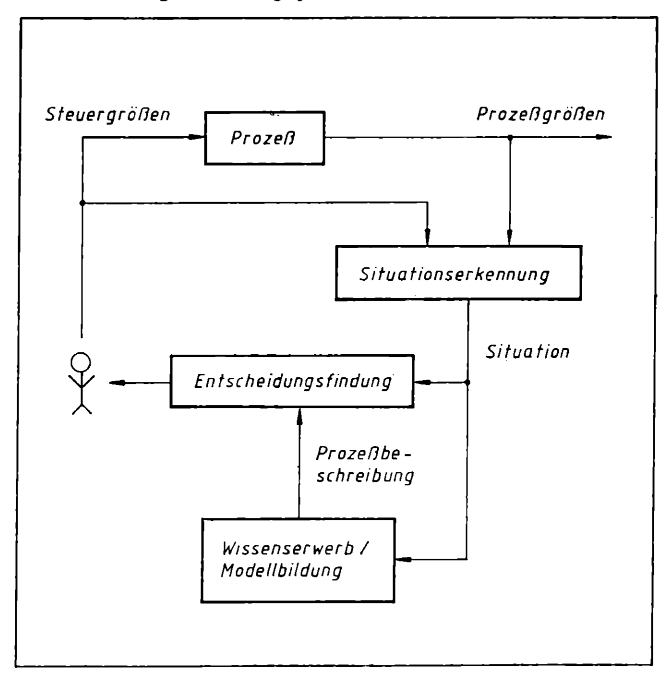
Bild 11. Darstellung eines Klassenreglers mit Hilfe der Fuzzy-Theorie

denen anstelle physikalischer Größen mit gegebenen Werten linguistische Variable auftreten. Beispielsweise wird der Druckverlauf in (6) mit „unter Normalwert“ und „fällt schnell ab“ beschrieben. Für die Anwendung der Regel (6) als Reglergesetz ist es notwendig, die linguistischen Variablen auf numerische Werte abzubilden. Am einfachsten geschieht das durch Zuordnung von Intervallen der Meßwerte zu den Begriffen. Gut untersucht ist auch die Anwendung der Fuzzy-Theorie, bei der die einem Begriff zuzuordnenden numerischen Werte durch eine Zugehörigkeitsfunktion beschrieben werden („Fuzzyfizierung“ und „Entfuzzyfizierung“). Die Auswertung der IF-THEN-Regeln erfolgt über die Fuzzy-Logik (Bild 11). Eine solche Berechnung der Stellgröße für alle Meßwerte des Meßbereiches ergibt als äquivalente Darstellung des gesamten Rückkopplungszweiges im Bild 11 eine Entscheidungstabelle.

In [7] wurde der letztgenannte Weg einer kritischen Bestandsaufnahme unterzogen. Problematisch erscheint die Festlegung der Zugehörigkeitsfunktion, bei der eine gewisse Willkür nicht auszuschließen ist. Außerdem ist der Prozeßbediener häufig nicht in der Lage, seine Regelstrategien explizit in der Form (5) zu beschreiben [6]. Über erfolgreiche Einsätze von Regelungen nach Bild 11 wird z. B. in [1] und [44] berichtet, wobei die Regeln (5) bei der Steuerung des Pyrolyseofens in [1] durch Befragung der Anlagenfahrer, bei der Robotersteuerung in [44] durch theoretische Überlegungen fixiert wurden.

Die Berücksichtigung einer größeren Anzahl von Meßgrößen bei der Auswahl der Stelleingriffe muß als typisch für Regelungsprobleme angesehen werden, bei denen linguistische Regelalgorithmen den Anlagenfahrer ersetzen sollen. Daraus resultieren Anwendungsprobleme, da die zu verarbeitenden Relationen eine große Mächtigkeit aufweisen. Diesen Problemen, der Einführung von Strukturen in Fuzzy-Regler sowie der Erweiterung auf adaptive Algorithmen, die während des Betriebes vom Anlagenfahrer „lernen“, sind Forschungsarbeiten gewidmet, die die Einsetzbarkeit der linguistischen Regelalgorithmen verbessern sollen.

Bild 12. Steuerung mit Beratungssystem



9. Wissensbasierte Beratungssysteme für Steuerungsaufgaben

9.1. *Einsatzbedingungen*

Zweck der Rechnerstützung bei operativen Steuerungen ist die Beratung des Menschen, der selbst als Element im Steuerungsprozeß verbleibt (Bild 12). Hier werden Systeme zur Entscheidungshilfe bei Steuerungsaufgaben für technische Prozesse betrachtet. Das Gebiet der „Decision Support Systems“ kann dafür Anhaltspunkte liefern, z. B. [47]. Derartige Systeme sind jedoch vorrangig für Managementaufgaben ausgelegt. Demgegenüber dienen die hier interessierenden Systeme der Prozeßautomatisierung (im weitesten Sinne) und übernehmen neben Steuerungsaufgaben auch Funktionen der Diagnose, Sicherung und Überwachung.

Ziel der Beratungssysteme ist die Unterstützung, Entlastung bzw. Ersetzung des Menschen als Entscheidungsträger, indem

- Entscheidungsprobleme beherrschbar gemacht werden (Übersicht erhalten, Dimension reduzieren)
- Konsequenzen unterschiedlicher Entscheidungen aufgezeigt, Randbedingungen und kritische Bereiche zur Eingrenzung des Spielraumes ermittelt und Entscheidungsvorschläge bearbeitet werden
- Routineentscheidungen automatisiert (d. h. ohne Eingriff des Menschen ausgeführt) werden
- Erfahrungen in der Steuerung des betrachteten Prozesses gesammelt, zusammengefaßt und im Bedarfsfall bereitgestellt werden.

Das betrifft vor allem solche Steuerungsaufgaben, die bisher weitgehend vom Menschen gelöst wurden, da ihre Lösung nicht vollständig algorithmisierbar ist und heuristisches Vorgehen, Intuition und Erfahrung erfordert. Zu Aufgaben, die aus diesen Gründen zur rechten Spalte in Tafel 3 gezählt werden müssen, gehören

- operative Steuerungsaufgaben, bei denen der Anlagenfahrer zweckmäßige (anstelle streng optimaler) Eingriffe in den Prozeß finden will
- Steuerungsaufgaben der höheren Entscheidungsebenen mit großem Entscheidungshorizont
- Steuerungsaufgaben, bei denen rechnergestützt Entscheidungsvorschläge erarbeitet werden können, dem Menschen jedoch aus juristischen, ethischen oder ökonomischen Gründen die Realisierung der Entscheidung vorbehalten bleiben muß
- Steuerungsaufgaben, die aus unvorhersehbaren oder einmaligen Situationen abgeleitet werden
- Steuerungsaufgaben bei Prozessen mit kompliziertem dynamischen Verhalten.

9.2. *Beratungssysteme für Steuerungsaufgaben*

Der Einsatz von Beratungssystemen für prozeßnahe Steuerungsaufgaben ist in den letzten Jahren hauptsächlich modellgestützt durch Bildung umfangreicher analytischer Verhaltensmodelle des zu steuernden Prozesses und Simulationsuntersuchungen vorbereitet worden [59] bis [61] und [64]. Derartige Beratungssysteme nutzen die Kompaktheit der Darstellung von Informationen über das Prozeßverhalten, die durch analytische Modelle ermöglicht wird, sowie das Vorhandensein einer Vielzahl von Methoden zur Modellbildung bzw. zur Lösung von Steuerungsaufgaben. Ohne die damit verbundenen Probleme zu übersehen, sind die auftretenden Teilaufgaben als vollständig spezifiziert zu bezeichnen (linke Spalte in Tafel 3). Wissensbasierte Beratungssysteme haben sich Aufgaben zuzuwenden, bei denen die Steuervorschläge aus unvollständigen Kenntnissen über das Prozeßverhalten abzuleiten sind.

Die Struktur der Steuerung mit Beratungssystem ist im Bild 12 angegeben.

Der Einsatz von Klassifikationsverfahren für die Situationserkennung wurde in [3] [8] und [9] untersucht. Ziel ist es, aus den Meßgrößen eine durch möglichst wenige Größen charakterisierte Situationsbeschreibung zu ermitteln, aus der der Steuervorschlag bestimmt wird. Die Entscheidungsfindung kann dabei im einfachsten Fall mit Hilfe einer Entscheidungstabelle vorgenommen werden. Größere Aufgaben machen die Aufstellung

vieler Regeln notwendig, die entsprechend der im Abschn. 2. beschriebenen Prinzipien zur Ermittlung des Steuervorschlags ausgewertet werden müssen.

Beratungssysteme, die ausschließlich deskriptive Formen der Prozeßbeschreibung (s. Abschn. 2.) verwenden, werden *Expertensysteme für Steuerungsaufgaben* genannt. Ihre Stärken liegen potentiell in der Anwendbarkeit bei unvollständig bekannten oder nur qualitativ beschreibbaren Prozessen sowie in der Möglichkeit, heuristisches Vorgehen in die Entscheidungsfindung einzubeziehen.

Für Steuerungsaufgaben sind aufgrund der Dynamik und Komplexität des Steuerungsobjektes und den häufig gegebenen Möglichkeiten, Teilbereiche des Systemverhaltens (z. B. das Verhalten im Normalbetrieb) durch analytische Modelle geschlossen zu erfassen, i. allg. prozedurale und deskriptive Methoden in Kombination anzuwenden. Dementsprechend wird die Steuerung mit Hilfe analytischer Methoden des Steuerungsentwurfes und Problemlösungsmethoden gemeinsam ermittelt.

9.3. Wissensbasierte Systeme für die Leittechnik

Übergeordnete Aufgaben werden in der Prozeßautomatisierung in der Leittechnik zusammengefaßt. Vorrangige Ziele dieser koordinierenden Einheit sind die Verbesserung der technischen Sicherheit und die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses. Dabei werden von der Leitwartentechnik heute vor allem eine Informationsaufbereitung und -vorauswertung vorgenommen sowie zentrale Steuerungen und Regelungen übertragen bzw. selbständig ausgeführt. Die Bediener müssen über umfangreiches Wissen über den Prozeß und die Wirkungsweise der Automatisierungsanlage sowie Erfahrungen bei der Steuerung der Anlage verfügen.

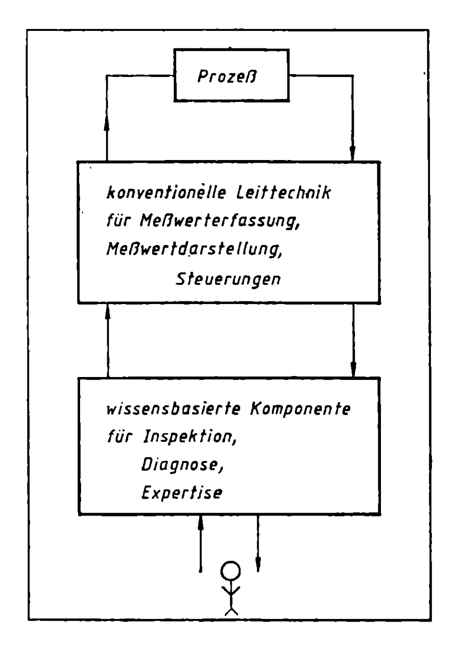
Ziel einer wissensbasierten Erweiterung dieser Leittechnik ist es, die Informationsaufbereitung durch Nutzung von Wissen über die kausalen Zusammenhänge innerhalb des Prozesses und von heuristischem Wissen über die Lösung der Steuerungsaufgabe so zu erweitern, daß die Situationserfassung auf eine kompakte Beschreibung des Prozeßzustandes führt und Steuervorschläge unterbreitet werden können. Teilprobleme, die von dem wissensverarbeitenden Teil übernommen werden sollen, sind

- die intelligente Interpretation der Meßwerte (bessere Informationsaufbereitung, Ableitung globaler Informationen)
- die Unterbreitung von Steuervorschlägen
- die Aufzeichnung der Wirkung der vorgenommenen Stelleingriffe im Vergleich zu der erwarteten Wirkung
- der Erwerb heuristischen Wissens durch Beobachtung und Bewertung der vom Wartungspersonal vorgenommenen Eingriffe und deren Folgen.

Die Grundstruktur einer so erweiterten Leitwarte wurde in [63] vorgestellt (Bild 13). Die wissensbasierte Komponente ist zwischen dem Bediener und der „konventionellen" Leittechnik angeordnet. Die Wissensbasis enthält Kenntnisse über die Organisation und Funktion des Prozesses, die Bedeutung der Meßwerte und Zielstellungen der Steuerung sowie Informationen darüber, wie der Prozeß gesteuert und geregelt wird.

Das PICON-Programmsystem [40] und [41] ist ein wissensbasiertes System, das Funktionen dieser Art erfüllen kann. Das Wissen ist in einer Frame-Struktur organisiert, bei der die zur Beschreibung der Situation verwendeten Slots Aktionen (mit Prioritäten), Schlußfolgerungen (mit Sicherheitsfaktoren), Verweise auf Regeln usw. enthalten. Die Wissensverarbeitung umfaßt Rückwärts-Verkettungs-Mechanismen zur Diagnose von Alarmen, Erklärung von Ergebnissen usw. sowie Vorwärts-Verkettungs-Mechanismen zur Ableitung von möglicherweise wichtigen Ereignissen aus den Meßwerten (z. B. Ereignisse, die demnächst Alarme auslösen können). Dieses System erfordert eine spezielle Hardware, die aus einem LISP-Prozessor für die Wissensverarbeitung und einem 68010-Prozessor für die Datenverarbeitung besteht. Eine Anwendung zur intelligenten Alarmbehandlung an einer Destillationskolonne ist in [41] beschrieben. Im Unterschied zu dem im Bild 13 angegebenen Konzept greift das PICON-System direkt auf die Meßstellen zu. Ein weiteres, demselben Anliegen dienendes System ist in [32] vorgeschlagen.

Bild 13. Intelligente Leittechnik (nach [63])



Zusammenfassung und Ausblick

Steuerungsaufgaben wurden bisher vor allem auf der Grundlage analytischer Prozeßbeschreibungen und der darauf aufbauenden Steuerungs- und Entscheidungsalgorithmen gelöst. Durch die Verwendung deklarativer Formen der Wissensdarstellung und die Nutzung vorhandener Problemlösungsmethoden können neue Aufgabenklassen erschlossen werden. Dabei kann auf die von der Informatik bereitgestellten Methoden und Hilfsmittel der Softwaregestaltung (Methoden der Wissensrepräsentation und KI-Sprachen, Inferenzmaschinen, Programmierumgebungen, KI-Hardware) zurückgegriffen werden, so daß die Hauptprobleme bei der Anwendung in der Erstellung der Wissensbasis und der Ausarbeitung problemangepaßter heuristischer Lösungsmethoden bestehen. Die Bereitstellung der Wissensbasis ist Aufgabe der Kybernetik. Sie erfordert beim heutigen Stand der Hilfsmittel jedoch eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Entwurfs- bzw. Steuerungsfachleuten und Informatikern. So sind z. B. „Wissensingenieure" als Vermittler zwischen fachspezifischen und KI-Problemen und -Methoden notwendig.

Die wichtigsten Probleme bei der Anwendung wissensbasierter Systeme zur Lösung von Steuerungsaufgaben können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- Die *Zeitabhängigkeit der Daten* führt auf eine „dynamische Faktenbasis" und macht die Anwendung von die Zeit berücksichtigenden Schlußfolgerungsverfahren (temporale Logik, Probleme des nichtmonotonen Schlußfolgerns) notwendig.
- Aufgrund des großen Umfangs an aktuellen Daten und den Echtzeitforderungen sind die Wissensverarbeitungsaufgaben nur bei Verwendung von Spezialhardware (LISP-Maschine, Parallelverarbeitung) lösbar.
- Wirkungsvolle Einsatzgebiete wissensbasierter Systeme bei Steuerungsaufgaben erfordern die Lösung sehr *komplexer Wissensverarbeitungsprobleme.* Das ist einerseits dadurch begründet, daß viele Probleme modellgestützt gelöst werden können und Schlußfolgerungen bezüglich übergeordneter Aufgabenstellungen mit einer großen Vielfalt an Einflußgrößen und Verhaltensformen des Prozesses notwendig sind. Andererseits bedingt die Struktur des Steuerungsobjektes, daß mehrere Bediener beraten werden müssen, die unabhängig voneinander auf denselben Prozeß eingreifen.
- Die Wissensverarbeitung hat in starkem Maße die *Unbestimmtheit und Unvollständigkeit des Expertenwissens* zu berücksichtigen. Während der Normalbetrieb gut bekannt ist, gibt es i. allg. wenige Kenntnisse über die Art von Ausnahmesituationen (z. B. Havarien) und zweckmäßige Reaktionen darauf.
- Neuartige Probleme des Wissenserwerbs entstehen dadurch, daß der Anlagenfahrer seine Entscheidungen in Abhängigkeit

von der Bewegung eines dynamischen Prozesses fällt und das *Entscheidungsverhalten des Menschen* in diesen Situationen wenig untersucht ist.

– Die Wissensrepräsentation muß so gestaltet werden, daß in hohem Maße *analytische Modelle in die Wissensverarbeitung einbezogen* werden können.

Aufgrund dieser Anwendungsprobleme ist der Einsatz wissensbasierter Systeme für Steuerungsaufgaben heute noch Gegenstand von Grundlagenuntersuchungen. Wissensbasierte Systeme sind nur für solche Probleme erprobt und deshalb auch für Automatisierungsaufgaben kurzfristig einsetzbar, die sich als Diagnoseaufgaben mit regelbasierter Wissensdarstellung für ein klar umgrenztes Spezialgebiet mit gut formalisierbarem Wissen charakterisieren lassen. Für Steueraufgaben, die Analyse- und Syntheseaufgaben gleichermaßen beinhalten, erfordert der Einsatz wissensbasierter Systeme jedoch die Lösung grundlegender wissenschaftlicher Probleme. Zu den Forschungskomplexen gehören

– Untersuchungen zur Wissensverarbeitung unter den durch den Einsatz für Steuerungsaufgaben gegebenen Randbedingungen:
  - Aufbau und Verhalten von Systemen mit numerischer und symbolischer Informationsverarbeitung (Aufgabenteilung und Anschlußbedingungen für die effektive Verarbeitung analytischer Modelle und logischer Schlußfolgerungsketten; Kopplung numerischer und symbolischer Datenverarbeitung [23] einschließlich Sprachkonzepte für die Integration beider Verarbeitungsformen [55]
  - Strukturierung von wissensbasierten Systemen mit großen Wissensbasen [46] und mehreren Nutzern [22]
  - Wissensverarbeitung für Probleme mit Analyse- und Syntheseaufgaben

– die Aufarbeitung von Steuerungsaufgaben und Lösungsprinzipien, um sie mit KI-Methoden lösen bzw. realisieren zu können
  - Ausbildung von „Wissensingenieuren“ für Steuerungsaufgaben
  - Auswahl der Anwendungsgebiete und Aufbereitung der dort vorhandenen fachwissenschaftlichen Probleme für deren Lösung durch wissensbasierte Systeme (zum Beispiel: Inwieweit muß das Entscheidungsverhalten des Menschen untersucht werden, um wirksame Beratungssysteme aufbauen zu können [34]?)

– Schaffung von Werkzeugen zum Einsatz wissensbasierter Systeme bei Steuerungsaufgaben
  - Aufbereitung der Grundlagen wissensbasierter Systeme für ingenieurtechnische Anwendungen
  - Schaffung von Rahmensystemen für den Aufbau wissensbasierter Systeme in der Automatisierungstechnik.

Literatur

[1] *Ahnert, G.; Locke, M.:* Zur unscharfen Steuerung und Modellierung des An- und Abfahrens eines komplexen verfahrenstechnischen Prozesses. Intern. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau 1985, Heft A, S. 11–14.

[2] *Bakule, L.; Lunze J.:* Rechnergestützter Entwurf von Regelungssystemen unter Verwendung der LQ-Regelung. msr, Berlin 29 (1986) 7, S. 292–298.

[3] *Balzer, D.; Böhme, B.:* Zur Anwendung von Situationserkennungsmethoden bei der Steuerung komplexer verfahrenstechnischer Prozesse. Intern. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau 1985, Heft A, S. 19–22.

[4] *Barr, A.; Feigenbaum, E. A.:* The Handbook of Artificial Intelligence. Vol. 1–3, Los Altos: William Kaufman 1982.

[5] *Begg, V.:* Developing Expert CAD Systems. London: Kogan Press 1984.

[6] *Bieker, B.:* Wissenserwerb und -akquisition für Echtzeit-Expertensysteme zur Prozeßregelung. Automatisierungstechnik 33 (1985) 9, S. 295–296.

[7] *Bieker, B.; Schmidt, G.:* Fuzzy Regelungen und linguistische Regelalgorithmen – eine kritische Bestandsaufnahme. Automatisierungstechnik 33 (1985) 2, S. 45–52.

[8] *Böhme, D.:* Ein Beitrag zur Steuerung und operativen Führung von Prozessen mittels Klassifikationsverfahren. Dissertation A, TH Ilmenau 1985.

[9] *Böhme, D.:* Ausgewählte Methoden zum Entwurf von Beratungssystemen für die Prozeßsteuerung. Intern. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau 1985, Heft A, S. 65–68.

[10] *Bonnet, A.:* Artificial Intelligence: Promise and Performance. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1985.

[11] *Brauer, M.; Radig, B.* (Herausgeber): Wissensbasierte Systeme. Informatik-Fachberichte 112. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1985.

[12] *Brocking, A. G.:* Towards and methodology for the design of knowledge based systems. ESPRIT 84. Amsterdam: North-Holland 1984, pp. 147 to 158.

[13] *Brooks, R. A.:* Programming in Common-LISP. New York: J. Wiley & Sons 1985.

[14] *Chong, C.; Lee, R. C.:* Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving. New York: Academic Press 1973.

[15] *Clark, K. L.; McCabe, F. G.* (Eds.): Micro-PROLOG. Programming in Logic. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1984.

[16] *Clocksin, W. F.; Mellish, C. S.:* Programming in PROLOG. New York: Springer-Verlag 1981.

[17] *Cromatry, A. S.:* What are current expert system tools missing? 13 th IEEE Computer Society Conf., San Francisco 1985, pp. 411–418.

[18] *Davis, R.; Lenat, D. B.:* Knowledge-based Systems in Artificial Intelligence. New York: McGraw-Hill Book Company 1982.

[19] *Feigenbaum, E. A.; McCorduck, P.:* Die Fünfte Computer-Generation. Basel: Birkhäuser-Verlag 1983.

[20] *Florath, P.; Jentsch, W.:* Rechentechnische Grundlagen für die Schaffung von Expertensystemen. Studie des ZKI der AdW, Berlin 1986.

[21] *Fuchs, H.:* Zum Verhältnis von künstlicher Intelligenz und Automatisierung. msr, Berlin 30 (1987) 10, S. 434–437.

[22] *Galio, S.:* Multiperson decision aspects in the construction of expert systems. IEEE Trans. SMC-15 (1985) 4, pp. 536–539.

[23] *Gallanti, M.; Guida, G.; Spampinato, L.; Stefanini, A.:* Representing procedural knowledge in expert systems: an application to process control. Intern. Joint Conf. on Artificial Intelligence. Los Angeles 1985, pp. 345 to 352.

[24] *Geske, U.:* PROLOG. B – Grundlagen, Beschreibung, Handbuch. ZKI-Informationen 3/83. AdW der DDR, Berlin 1983.

[25] *Gilmore, J. F.:* Knowledge based systems in computer aided technology. 23rd Conf. Decision Control, Las Vegas 1984, pp. 586–590.

[26] *Hamann, E.-M.:* Einführung in das Programmieren in LISP. Berlin: W. de Gruyter-Verlag 1985.

[27] *Hart, A.:* Knowledge Acquisition for Expert Systems. London: Kogan Page 1986.

[28] *Hayes-Roth, F.; Waterman, D. A.; Lenat, D. B.:* Building Expert Systems. Reading: Addison-Wesley 1983.

[29] *Hindin, H. J.:* Revolution brewing in workstation technology. Computer design (1985) 1, pp. 111–124.

[30] *Hogger, C. J.:* Introduction to Logic Programming. London: Academic Press 1984.

[31] *Indica, N. R.:* Expertensysteme. Regelungstechnische Praxis 26 (1984) S. 402–407.

[32] *Jakob, F.; Vernet, D.:* Applications of expert systems to process control. Intern. Conf. on Intell. Manufacturing Systems, Budapest, 1986, pp. 132 to 135.

[33] *Jong, K. D.:* Intelligent control: Integrating artificial intelligence and control theory. Automating Intelligent Behaviour Workshop, Gaithersburg 1983, pp. 158–161.

[34] *Knauper, A.; Rouse, W. B.:* A rule-based model of human problemsolving behaviour in dynamical environment. Trans. SMC-15 (1985) 6, pp. 708 to 720.

[35] *Kowalski, R.:* Algorithm = Logic + Control. Communications of the SCM 22 (1979) 7, pp. 424–436.

[36] *Kreller, S.; Ruhnan, G.; Hess, K.; Schulz, K.:* Expertensystem MODEX für industrielle Steuerungssysteme. 30. Intern. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau 1985. Heft A, S. 197–200.

[37] *Martin, E.; Martin, K.:* Microcomputer based program package for the computer aided design of industrial multivariable control systems. Proc. Intern. Conf. on Problems of Complex Control Systems. Varna 1985. Vol. 1, pp. 73–80.

[38] *Michie, D.* (Ed.): Introductory Reading in Expert Systems. Edinburgh: University Press 1982.

[39] *Mitchell, T. M.; Steinberg, L. I.; Shulman, J. S.:* A Knowledge based approach to design. IEE Workshop on Principles of Knowledge-based Systems. Denver 1984, pp. 27–33.

[40] *Moore, R. L.:* Adding real-time expert system capabilities to large distributed control systems. Control Engineering (1985) 4, pp. 118–121.

[41] *Moore, R. L.; Hawkinson, L. B.; Knickerbocker, C. G.; Churchman, L. M.:* A real-time expert system for process control. 1st Conf. on Artificial Intelligence Appl. Denver 1984. pp. 569–576.

[42] *Moto-Oka, T.* (Ed.): Fifth Generation Computer Systems. Proc. of the FGCS '81, North-Holland 1981.

[43] *Nilsson, N. J.:* Principles of Artificial Intelligence. New York: Springer-Verlag 1982.

[44] *Palm, R.:* Design of a fuzzy controller for a sensor guided robot manipulator (to appear).

[45] Proc. of the FGCS '84. Amsterdam: North-Holland Publ. Co. 1984.

[46] *Rajaram, N. S.:* Design of intelligent system with cooperating knowledge based components. Automating intelligent behaviour workshop, Gaithersburg 1983. pp. 135–141.

[47] *Reitman, W.:* Applying artificial intelligence to decision support: where do good alternatives come from? In: *Ginzberg, M. J.; Reitman, W.; Stohr, E. A.* (Eds.): Decision support systems. Amsterdam: North-Holland Publ. Co. 1982.

[48] *Retti, J.* (Ed.): Einführung in die Artificial Intelligence. Stuttgart: B. G. Teubner 1984.

[49] *Rychener, M. D.:* Expert systems for engineering design: experiments with basic techniques. Automating Intelligent Behaviour Workshop, Gaithersburg 1983, pp. 21–26.

[50] *Sakuguchi, T.; Matsumoto, K.:* Development of a knowledge based system for power system restoration. IEEE Trans. PAS-102 (1983) 2, pp. 320–329.

[51] *Sokollik, F.; Brack, G.:* Hierarchische Steuerungen zur operativen Lenkung Großer Systeme. msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 194–197.

[52] *Stede, W.:* Einführung in die Künstliche Intelligenz. Sprendlingen: Luther-Verlag 1983.

[53] *Stoitschev, L.; Antonov, A.:* Description of structure and behaviour of systems with concurrency – a rule-based approach. Conference AIMSA '86 Varna 1986.

[54] *Stoyan, H.:* LISP-Programmierhandbuch. Berlin: Akademie-Verlag 1978.

[55] *Szuba, T.:* PC-Prolog for process control application. Angew. Informatik (1984) 4, S. 164–171.

[56] *Tashiro, T.; Komoda, N.; Tsushima, T.; Matsumoto, K.:* Advanced software for constraint combinatorial control of discrete event systems – rule based control software for factory automation. Comprint-Conf. 1985, pp. 132–137.

[57] *Taylor, J. H.; Frederick, D. K.; James, J. R.:* An expert systems scenario for computer-aided control engineering. American Control Conf., San Diego 1984, pp. 120–128.

[58] *Töpfer, H.:* Strukturprobleme für Automatisierungslösungen. 8. Wissenschaftlich-technische Konferenz der WGMA, Berlin 1985.

[59] *Wernstedt, J.:* Methoden und Erfahrungen zur Prozeßsteuerung und Entscheidungsfindung durch den Menschen auf der Grundlage von Beratungs-/Expertensystemen. msr, Berlin 28 (1985) 7, S. 295–298.

[60] *Wernstedt, J.:* Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme. msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349–353.

[61] *Wernstedt, J.; Winkler, W.; Meyer, D.; Klöring, H.-J.:* Rechnergestützte operative Steuerung der Blasstahlqualität auf der Grundlage des Beratungssystems MAX-STAHL. msr, Berlin 29 (1986) 5, S. 207–213.

[62] *Winston, P. H.; Horn, B. K. P.:* LISP. Reading: Addison-Wesley 1984.

[63] *Wittig, I.:* Expertensysteme in der Prozeßleittechnik. In: *Bauer, W.; Radig, B.* (Herausg.): Wissensbasierte Systeme. Informatik-Fachberichte 112. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1985.

[64] Vorträge der 5. Arbeitstagung „Algorithmisierte Prozeßanalyse“. Dresden 1984. Tagungsmaterial.

msr 8667

W. Weller

Lernfähige Automaten mit adaptiver Zufallssuche

0. Einleitung

Eine der wesentlichen Tendenzen der Kybernetik besteht darin, daß man sich verstärkt Systemen zuwendet, die über die Fähigkeit verfügen, ihr Verhalten selbsttätig zielgerichtet zu entwickeln. Diese sind in der Lage, in einer a priori unvollständig bekannten Umgebung zunehmend erfolgreicher zu wirken bzw. sich deren Veränderungen anzupassen. Neben den rein evolutionären, d. h. adaptiven Systemen, gewinnen insbesondere solche mit Intelligenz zunehmend an theoretischem Interesse wie unmittelbar praktischer Bedeutung. Hierzu zählen u. a. die lernfähigen Systeme. Diese zeichnen sich gegenüber den rein adaptiven Systemen insbesondere durch folgende zusätzliche Eigenschaften aus:

- sie können auch bei rasch wechselnden Situationen gemäß dem bereits Erlernten sofort reagieren
- ihre Suchstrategie verbessert sich mit zunehmendem Kenntnisstand
- die entwickelteren Lernsysteme sind darüber hinaus fähig, in Situationen, die bisher aufgrund des vorliegenden Wissensstandes nicht aufgetreten sind, Schlüsse für mutmaßlich vorteilhaftes Handeln zu ziehen.

Grundlegend für die Wirkungsweise solcher lernfähiger Systeme ist der Erwerb von aufgabenbezogenem Wissen. Dieses wird vor allem durch die Interaktion des lernfähigen Systems mit seiner Umgebung gewonnen. Gute Lernsysteme sind hierbei bestrebt, möglichst viel Umgebungsinformationen aufzunehmen und zusammen mit dem gespeicherten Wissen hochgradig auszuwerten.

Neben den bereits in großer Mannigfaltigkeit entwickelten Lernsystemen mit schrittweiser Optimierung des Gütefunktionals durch deterministische Suche kommen auch solche mit adaptiv gesteuerter Zufallssuche in Betracht [1]. Letztere bieten die häufig einzige Möglichkeit zur Behandlung nichtstetiger bzw. nichtdifferenzierbarer Probleme, können aber auch im deterministischen Fall eingesetzt werden. Liegen auch die Variablen in diskreter bzw. diskretisierbarer Form vor, so lassen sich solche Systeme als lernfähige Automaten behandeln. Dazu sollen im vorliegenden Beitrag einige Lösungsansätze vorgestellt werden.

1. Grundlagen

Der Begriff des lernfähigen Automaten führt über den des stochastischen Automaten. Unter letztgenanntem versteht man einen Automaten, dessen Zustandsübergänge bzw. Symbolausgaben mit angebbaren bedingten Wahrscheinlichkeiten erfolgen.

Es läßt sich nun festlegen, daß sich das stochastische Verhalten allein auf die Zustandsübergänge bezieht, während die Zuordnung zu den Ausgabesymbolen deterministisch erfolgt. Die Beschreibung eines solchen Automaten lautet dann [2]

$$A = (X, Y, Z, p(Z'/Z, X), g) \qquad (1)$$

mit

X, Y, Z	Mengen von Eingangs-, Ausgangs- und Zustandssymbolen
$p(Z'/Z, X)$	bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Zustandsübergänge
$g: Z \times X \to Y$	Ausgabefunktion.

Ein stochastischer Automat wird dann zu einem lernfähigen Automaten, wenn dieser im Verlauf eines Lernprozesses mit seiner Umgebung wechselwirkt und unter Auswertung dieser laufenden Informationen sein Verhalten in einem definierten Sinn schrittweise verbessert. Dabei soll das Prinzip des Erfolgslernens (trial and error learning) in seiner einfachen Form gelten, d. h., das schrittweise entwickelte Modell wird nach jedem Lernschritt nicht in seiner Gesamtheit analysiert.

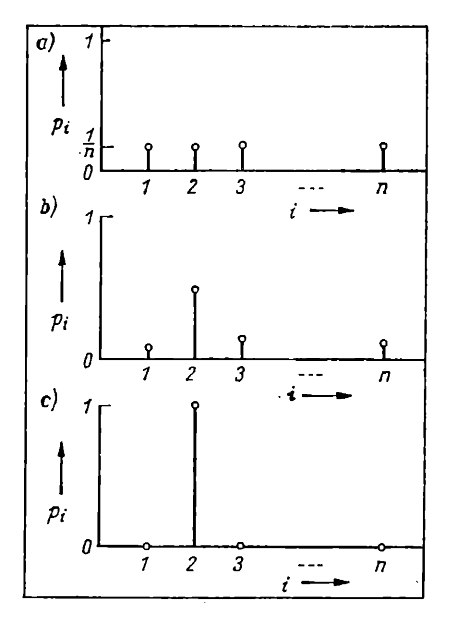


Bild 1. Entwicklung einer Auswahlwahrscheinlichkeitsverteilung während des Lernprozesses

Im Fall des lernfähigen Automaten wird das Modell durch Verteilungen von Aktionswahrscheinlichkeiten repräsentiert. Ihre zielgerichtete Anpassung übernimmt ein geeigneter Algorithmus, der Adaptionsalgorithmus genannt wird.

Legt man einen Automaten vom Moore-Typ zugrunde, so kann eine sehr allgemeine Definition für lernfähige Automaten gegeben werden durch

$$A = (X, Y, p(Y'/Y, X), p_0, p_Z, B_Z, AA) \qquad (2)$$

mit der Bedeutung

X, Y	Mengen von Eingangs- und Ausgangssymbolen
$p(Y'/Y, X)$	über den Mengen Y, X definierte Verteilungen der bedingten Ereigniswahrscheinlichkeiten
p_0	A-priori-Verteilungen
p_Z	Ziel-Verteilungen
B_Z	zielabhängige Bewertung bzw. Belehrung
AA	Adaptionsalgorithmus.

Setzt man im weiteren zur Vereinfachung ein kombinatorisches Verhalten voraus, so läßt sich das in (2) enthaltene Feld von Ereigniswahrscheinlichkeiten auch darstellen durch eine Gesamtheit diskreter Verteilungen der Form

$$p_x = (p(y'_1), p(y'_2), \ldots, p(y'_n) \mid x \in X), \qquad x \in X. \qquad (3)$$

Aus Zweckmäßigkeitsgründen erfassen wir diese Verteilungen durch Vektoren

$$p_x = [p_1 p_2 \cdots p_n]_x^T, \qquad \forall x \in X. \qquad (4)$$

Diese Vektoren beschreiben dann die Wahrscheinlichkeiten für die Auswahl einer neuen Reaktion y_i über der Menge Y der möglichen Auswahlen bei Vorliegen jeweils einer Beobachtung $x_k \in X$.

Anhand einer solchen Darstellung läßt sich dann das Verhalten solcher lernfähiger Automaten gut diskutieren. Hierbei sollen drei verschiedene Lernzustände betrachtet werden. Die Entwicklung des Verhaltens wird anhand einer herausgegriffenen diskreten Verteilung p_x für $x = x_k \in X$ im Bild 1 veranschaulicht.

a) *initiales Verhalten* $H(0)$
Bei Vorliegen einer Beobachtung $x = x_k$ reagiert der Automat mit der Auswahl einer Reaktion $y \in Y$, die der Anfangsverteilung $p_x(0)$ unterliegt. Diese ist im Bild 1a bei angenommener Gleichverteilung dargestellt. Das System arbeitet also als ein stochastischer Automat, wobei die Auswahl jeder Reaktion $y \in Y$ gleichwahrscheinlich ist.

Prof. Dr. sc. techn. *Wolfgang Weller* (52) studierte von 1953 bis 1959 Regelungstechnik an der TH Dresden. Anschließend im Institut für Regelungstechnik Berlin tätig. 1966 Promotion A. Von 1966 bis 1967 Dozent und Berater am Higher Institute for Electronics in Menouf/Arabische Republik Ägypten. Danach wieder im IfR Berlin und gleichzeitig Lehrbeauftragter an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. 1970 Berufung zum ordentlichen Professor für Technische Kybernetik an der Sektion Elektronik der Humboldt-Universität zu Berlin. 1973 Promotion B.

b) *temporäres Verhalten* $H(j)$, $j > 0$
Unter der Wirkung des Adaptionsalgorithmus hat sich die diskrete Verteilung p_x für $x = x_k$ zielgerichtet verändert, wobei die Streuungen um die jeweils „besten" Reaktionen verringert sind. Als Beispiel dient eine Verteilung nach Bild 1b.

c) *finales Verhalten* $H(z)$
Das Lernziel wurde erreicht, d. h., der Automat reagiert bei Vorliegen von $x = x_k$ mit einer Auswahl $y \in Y$ gemäß der finalen Verteilung $p_x(z)$. Handelt es sich um ein deterministisches Verhalten der Umwelt, so wird der Automat ebenfalls determiniert, d. h., gemäß einer Einpunktverteilung, reagieren, falls die Auswahlmenge der optimalen Reaktionen $Y_{x\,opt} \subset Y$ nur ein Element enthält (Bild 1c). Verfügt die Menge $Y_{x\,opt}$ hingegen über $n_{opt} < n$ gleichwertige Reaktionen, so erfolgt eine gleichverteilte stochastische Auswahl zwischen diesen Elementen.

2. Struktur lernfähiger Automaten

Eine mögliche Grundstruktur eines lernfähigen Automaten, der das geschilderte Verhalten aufweist, ist im Bild 2 angegeben [3]. Wie ersichtlich, können in einer zunächst etwas gröberen Betrachtung die Teilsysteme

- assoziativer Speicher (MEM)
- Reaktionsauswahl (RAW)
- Speicheradaption (ADA)

unterschieden werden, deren Funktionen nachfolgend detaillierter dargestellt werden.

2.1. *Assoziativer Speicher*

Der beobachtungsabhängige Kenntniserwerb eines lernfähigen Systems wird durch den — im vorliegenden Fall — empirischen Wissenszuwachs eines assoziativen Gedächtnisses erklärt [4]. Deshalb verfügen derartige Systeme über einen (Schreib-/Lese-)Speicher, dessen Zustand das aktuelle Wissen bedingungsabhängig repräsentiert.
Bei den hier betrachteten lernfähigen Automaten mit adaptiver Suche werden nicht die erlernten Beobachtungs-Reaktions-Relationen, sondern die bedingten Auswahl-Wahrscheinlichkeitsverteilungen, z. B. in Form von Wahrscheinlichkeitsvektoren (4), aufbewahrt. Diese können dann im Zusammenwirken mit den übrigen Teilsystemen bedarfsweise ausgelesen bzw. nach Korrektur wieder eingeschrieben werden.

2.2. *Reaktionsauswahl*

Dieses Teilsystem nimmt bei Beobachtung einer aktuellen Situation $x(j) = x_i \in X$ die zufällige Auswahl und Ausgabe $y(j) = y_k \in Y$ vor. Diese Auswahl unterliegt der lernzustandsabhängigen bedingten Verteilung p_x.
Zur Erfüllung dieser Aufgabe dienen ein Zufallszahlengenerator (ZUG), der eine Folge gleichverteilter Zufallsgrößen aus dem Intervall $[1, n]$ erzeugt, und eine Auswahlschaltung (SAW). Letztgenannte transformiert — formal ausgedrückt — die gleichverteilte Zufallsfolge in die der Verteilung $p_x(j)$ gehorchende Folge und trifft nach dem Prinzip der Maximum-Likelihood eine konkrete Entscheidung $e(j) = y_k \mid p_x(j)$, $y \in Y$.

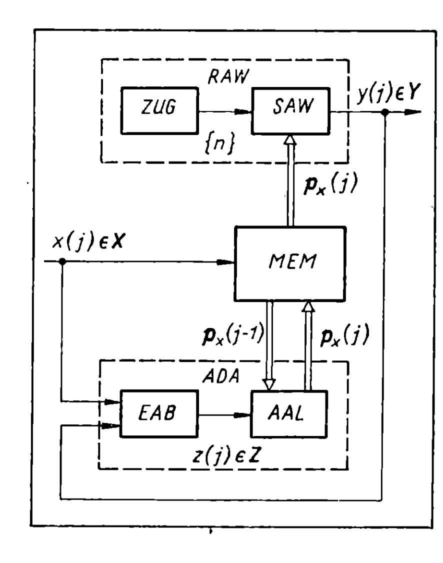


Bild 2. Struktur eines lernfähigen Automaten mit adaptiver Zufallssuche

2.3. *Speicheradaption*

Die Funktionseinheit Speicheradaption ADA verkörpert den intelligenten Teil des Lernsystems. Dort erfolgt eine Analyse des empirisch erworbenen Umgebungswissens zum Zweck einer zielgerichteten Verhaltensanpassung. Im vorliegenden Fall wird der inkrementale Kenntniserwerb zur situationsabhängigen Konditionierung der diskreten Auswahlwahrscheinlichkeiten p_x genutzt. Das Teilsystem steht daher mit dem Gedächtnis MEM in Wechselwirkung. Zur Beurteilung des durch Beobachtung des Umgebungsverhaltens erlangten Wissens bedarf es einer Bewertungsinstanz. Diese kann prinzipiell extern, d. h. durch ein übergeordnetes System bzw. den Menschen, oder auch systemintern vorgenommen werden. Dementsprechend unterscheidet man zwischen Lernen mit Belehrung und Selbstlernen. Hier wird auf den letztgenannten praktisch bedeutsameren aber auch komplizierteren Fall orientiert.
Der Bewertungsinstanz EAB obliegt die Erfolgsanalyse und -bewertung. Im Rahmen der Erfolgsanalyse wird das aktuelle Verhalten des lernfähigen Automaten partiell beurteilt. Dazu bedarf es eines Gütekriteriums, das beim Entwurf festgelegt werden muß. Bei dem hier gewählten Prinzip des Erfolgslernens durch Experimentation an der Umwelt sind die Ergebnisse der vorausgegangenen Verhaltensrealisierungen zu beurteilen. Handelt es sich im einfachsten Fall um das Erlernen eines zeitfreien bzw. kombinatorischen Verhaltens, so genügt die Auswertung der zuletzt realisierten Relation $(y(j-1), x(j))$. Bei dynamischem Verhalten muß sich hingegen die Beurteilung auf Relationsfolgen $(\{y(j-1-k)\}, \{x(j-k)\})$ beziehen.
Der festgestellte Erfolg oder Mißerfolg im Sinne des Gütekriteriums wird nachfolgend bewertet. Hierbei ist es grundsätzlich möglich, bei Zielannäherung eine Belohnung $(z > 0)$ oder bei Zielentfernung eine Bestrafung $(z < 0)$ bzw. auch alternativ beides zu vergeben. Dabei gewährleistet die bloße Erteilung von Belohnung die sichere Erreichung des Lernoptimums, während die Anwendung von Bestrafung zwar den Lernprozeß mit Sicherheit in Gang setzt, häufig aber nur zu einem straffreien Zustand führt. Daher empfiehlt sich die kombinierte Verwendung von Belohnung und Bestrafung. Die Bewertung $z \in Z$ wird i. allg. durch diskrete Wertezuweisung $Z = \{1, 0 - 1\}$ bzw. $Z = \{1, -1\}$ vorgenommen. Sie kann aber auch graduell erfolgen, womit sich der Grad der Zielannäherung berücksichtigen läßt.
Die Nutzung der erworbenen Kenntnisinkremente erfolgt in der nun zu behandelnden Funktionseinheit Adaptionsalgorithmus (AAL). Diese bewirkt die Konditionierung derjenigen diskreten Verteilung p_x, auf die sich die Erfolgsbewertung bezieht. Zur Gewährleistung einer höheren Störfestigkeit ist es i. allg. zweckmäßig, die jeweilige Verteilung nicht abrupt, sondern graduell zu adaptieren (mehrschrittiges Lernen). Dazu soll das Prinzip der Bekräftigung bzw. Abschwächung derart wirksam gemacht werden, daß die in der Praxis bewährten Realisierungen des Verhaltens verstärkt und damit konsolidiert bzw. im umgekehrten Fall abgeschwächt werden. Dies erfolgt bei dem betrachteten lernfähigen Automaten mit adaptiver Suche, indem die Ereigniswahrscheinlichkeit p_k der jeweils ausgewerteten Reaktion $y_k \in Y$ erfolgsabhängig erhöht bzw. erniedrigt wird. Die übrigen Komponenten p_i, $i \neq k$, werden dann entsprechend gegensinnig korrigiert. Die Grundform solcher Adaptionsalgorithmen lautet somit

$$\left.\begin{array}{l} p_k(j) = p_k(j-1) + \Delta p_k(j)\,, \\ p_i(j) = p_i(j-1) - \Delta p_i(j)\,, \\ \forall i \neq k = 1(1)\,n \end{array}\right\} \quad \text{für} \quad y(j) = y_k\,, \quad z(j) > 0 \tag{5a}$$

$$\left.\begin{array}{l} p_k(j) = p_k(j-1) - \Delta p_k(j)\,, \\ p_i(j) = p_i(j-1) + \Delta p_i(j)\,, \\ \forall i \neq k = 1(1)\,n \end{array}\right\} \quad \text{für} \quad y(j) = y_k\,, \quad z(j) < 0 \tag{5b}$$

mit den A-priori-Wahrscheinlichkeiten

$$p_i(0), \forall i = 1(1)\,n\,. \tag{6}$$

3. Entwicklung geeigneter Adaptionsalgorithmen

Es gilt nun, die Korrekturterme Δp_k, Δp_i (5a, b) sowie die A-priori-Wahrscheinlichkeiten $p_i(0)$ (6) geeignet zu spezifizieren.

Liegen keine A-priori-Informationen über eine günstige Anfangsverteilung vor, so ist es zweckmäßig, beim Systemstart mit einer Gleichverteilung zu beginnen.
Man wählt daher

$$p_i(0) = \frac{1}{n}, \qquad \forall i = 1(1)\,n\,. \tag{7}$$

3.1. *Forderungen an den Adaptionsalgorithmus*

Die sich während des Adaptionsprozesses entwickelnden Verteilungen p_x müssen gewissen Bedingungen genügen. Gefordert wird zum einen die Gewährleistung einer konstanten Gesamtwahrscheinlichkeit

$$P_x(j) = \sum_{i=1}^{n} p_i(j) = 1\,, \qquad j = 0, 1, 2, \ldots \tag{8}$$

Durch Aufspaltung der Wahrscheinlichkeitssumme folgt daraus die Bedingung

$$p_k(j) = 1 - \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n} p_i(j)\,, \qquad j = 0, 1, 2, \ldots \tag{9}$$

Den entsprechenden Zusammenhang für die Korrekturen $\Delta p_k(j)$ und $\Delta p_i(j)$ erhält man durch Summation über (5a) oder (5b) und Berücksichtigung von (9) zu

$$\Delta p_k(j) = \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n} \Delta p_i(j)\,, \qquad j = 0, 1, 2, \ldots \tag{10}$$

Weitere Nebenbedingungen ergeben sich daraus, daß die Ereigniswahrscheinlichkeiten $p_k(j)$ und $p_i(j)$ weder größer 1 noch negativ werden dürfen. Im Erfolgsfall $(z(j) > 0)$ muß daher gelten

$$p_k(j-1) + \Delta p_k(j) \leqq 1 \tag{11}$$

$$p_i(j-1) - \Delta p_i(j) \geqq 0\,, \qquad \forall i \neq k = 1(1)\,n \tag{12}$$

und bei Mißerfolg $(z(j) < 0)$ entsprechend

$$p_k(j-1) - \Delta p_k(j) \leqq 0 \tag{13}$$

$$p_i(j-1) + \Delta p_i(j) \geqq 1\,, \qquad \forall i \neq k = 1(1)\,n\,. \tag{14}$$

Durch paarweise Zusammenfassung der Ungleichungen (11), (13) und (12), (14) ergeben sich die Nebenbedingungen in der Form

$$\Delta p_k(j) \leqq p_k(j) \leqq 1 - \Delta p_k(j) \tag{15}$$

$$\Delta p_i(j) \leqq p_i(j) \leqq 1 - \Delta p_i(j)\,, \qquad \forall i \neq k = 1(1)\,n\,. \tag{16}$$

Die Darstellung der Bedingung (15) bzw. (16) im Bild 3 illustriert die geltenden Begrenzungen.

3.2. *Bestimmung geeigneter Korrekturfunktionen*

Berücksichtigt man die Bedingung (10), so hat der Adaptionsalgorithmus (5 a, b) nunmehr die Form

$$\left.\begin{aligned} p_k(j) &= p_k(j-1) + \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n} \Delta p_i(j)\\ p_i(j) &= p_i(j-1) - \Delta p_i(j)\\ \forall i &\neq k = 1(1)\,n \end{aligned}\right\} \quad \text{für} \quad y(j) = y_k\,, \quad z(j) > 0 \tag{17a}$$

$$\left.\begin{aligned} p_k(j) &= p_k(j-1) - \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n} \Delta p_i(j)\\ p_i(j) &= p_i(j-1) + \Delta p_i(j)\\ \forall i &\neq k = 1(1)\,n \end{aligned}\right\} \quad \text{für} \quad y(j) = y_k\,, \quad z(j) < 0\,. \tag{17b}$$

Die A-priori-Wahrscheinlichkeiten $p_i(0)$, $\forall i = 1(1)\,n$ werden zweckmäßig gemäß (7) gewählt.
Für die Korrekturterme $\Delta p_i(j)$ sollen keine Festwerte, sondern geeignete Funktionen der aktuellen Ereigniswahrscheinlichkeiten

$$\Delta p_i(j) = f(p_i(j-1)) \tag{18}$$

zugrunde gelegt werden. Diese müssen der Bedienung (16) entsprechend dem im Bild 3 dargestellten Lösungsraum genügen. Für (18) können verschiedene Lösungsansätze vorgeschlagen werden. Beispiele sind:

a) *stückweise linearer Ansatz*
Die lineare Funktion muß in Abhängigkeit von der Unter- bzw. Überschreitung des Schwellwertes $p_s = 0{,}5$ gewählt werden.

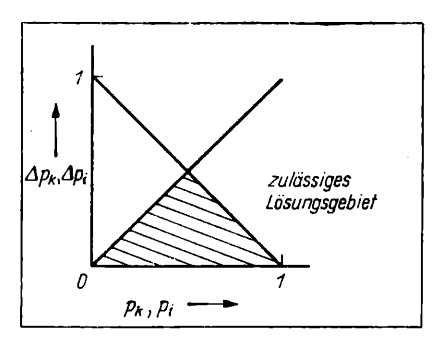


Bild 3. Darstellung des Lösungsraums

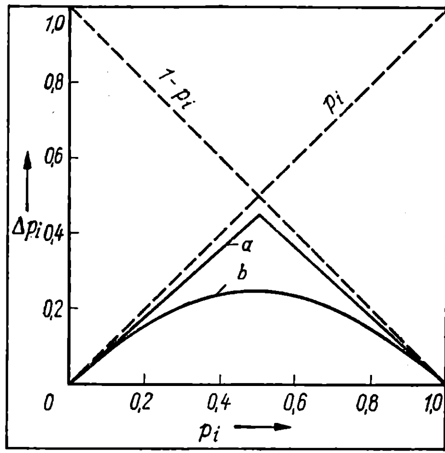


Bild 4. Darstellung der Verstellregeln a) und b)

Die Verstellregel lautet demnach

$$\Delta p_i(j) = \begin{cases} a p_i(j-1) & \text{für} \quad p_i(j-1) - 0{,}5 \leqq 0\,. \\ a(1 - p_i(j-1)) & \text{für} \quad p_i(j-1) - 0{,}5 > 0 \end{cases} \tag{19}$$

Darin ist der Parameter a der sogenannte Dämpfungskoeffizient, der im Bereich $0 < a \leqq 1$ zu wählen ist. Den Verlauf dieser Korrekturfunktion für $a < 1$ verdeutlicht die Kurve a im Bild 4.

b) *quadratischer Ansatz*
Die quadratische Funktion sollte ihr Maximum an der Stelle $p_{i\,max} = 0{,}5$ haben und darf die Bedingung (16) nicht verletzen. Dies leistet beispielsweise die Funktion

$$\Delta p_i(j) = a p_i(j-1)\,(1 - p(j-1))$$

mit $0 < a \leqq 1$.
Diese Korrekturfunktion ist als Kurve b im Bild 4 dargestellt.

Neben den hier ausgeführten Beispielen ist eine Vielzahl weiterer Korrekturfunktionen denkbar.

Zusammenfassung

Lernfähige stochastische Automaten auf der Basis des Erfolgslernens bieten ein alternatives Konzept zu den bisher vorwiegend angegebenen Lernsystemen mit deterministischer Suche. Dazu werden im Beitrag zunächst eine allgemeine Beschreibung und Darstellung der Struktur und Wirkungsweise gegeben. Mit der nachfolgenden Angabe spezifizierter Adaptionsalgorithmen mit beispielhaft ausgewählten Verstellregeln werden die Grundlagen für weitergehende Untersuchungen und Nutzungen bereitgestellt.
Lernfähige stochastische Automaten der beschriebenen Art haben nicht nur für das Erlernen formallogischer Gesetzmäßigkeiten Bedeutung, sondern können auch als Bestandteil von Lernsystemen mit quasikontinuierlichem Verhalten eingesetzt werden.

Literatur

[1] *Weller, W.:* Lernende Steuerungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1985; München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1985.
[2] *Rabin, M. O.:* Lectures on classical probability automata in automata theory. New York: Academic Press 1966.
[3] *Weller, W.:* Ein Lernalgorithmus nach dem Prinzip des Lernens am Erfolg. Forschungsbericht AT 85-6, Humboldt-Universität zu Berlin, Sektion Elektronik, 1985 (unveröffentlicht).
[4] *Liß, E.:* Induktives Lernen kognitiv-logischer Gedächtnisstrukturen. msr, Berlin 29 (1986) 9, S. 411–416.

msr 8664

Regelungstechnische Möglichkeiten zur Verbesserung des dynamischen Betriebsverhaltens von turboaufgeladenen Nutzfahrzeugdieselmotoren

0. Einleitung

Eine der wichtigsten Richtungen der Entwicklung von Verbrennungsmotoren, insbesondere von Dieselmotoren, ist die Anwendung der Aufladetechnik. Die Abgasturboaufladung hat sich in den letzten Jahren als ein geeignetes Verfahren zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Motorenanlagen erwiesen. Trotz der Vorzüge dieses Verfahrens kommen abgasturboaufgeladene Dieselmotoren bei Anlagen, die hauptsächlich unter instationären Betriebsbedingungen arbeiten, wie in Nutzfahrzeugen, Land- und Baumaschinen, nur zögernd zum Einsatz. Der Grund dafür liegt darin, daß sich das Betriebsverhalten bei starker Laständerung verschlechtert. Dieses Verhalten ist dadurch gekennzeichnet, daß dem Motor bei plötzlicher Lastzuschaltung nicht genügend Verbrennungsluft zur Verfügung steht. Wegen der thermodynamischen Kopplung zwischen Motor und Abgasturbolader sowie der thermischen und mechanischen Trägheit der Bauteilgruppen baut sich der notwendige Ladedruck nur langsam auf. Durch den Luftmangel kommt es zur unvollständigen Verbrennung, wobei neben der erhöhten Umweltbelastung auch die Kraftstoffausbeute enorm verringert wird.

Aus den Faktoren Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit und Ansprechverhalten ergibt sich die Notwendigkeit der Verbesserung der Luftversorgung und/oder der Anpassung der Kraftstoffeinspritzung an die Ladeluftmenge bei turboaufgeladenen Dieselmotoren.

1. Möglichkeiten zur Verbesserung der Lastannahmefähigkeit

In [5] werden mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Luftversorgung von turboaufgeladenen Dieselmotoren klassifiziert. Demnach kann man diese Methoden als ladeluft- oder abgasseitig unterteilen. Die bekannten Verfahren, wie Lufteinblasung in den Verdichter oder in die Ladeluftleitung bzw. in die Zylinder, sowie Wassereinspritzung an den heißen Abgasleitungswänden oder direkte Dampfzufuhr zum Rotor der Turbine, benötigen zusätzliche Energie- und Massenquellen. Wenn diese Hilfsenergiequellen durch den Motor gespeist werden, verringert sich seine Leistungsfähigkeit, was bei Lastzuschaltung eine Verlängerung der Übergangszeit bewirkt. Außerdem sind zusätzliche Vorrichtungen, wie Dampfakkumulator, Überhitzer, elektromagnetische Ventile zur Luft-, Dampf- oder Wassereinspritzung usw., notwendig, wodurch der Bauaufwand vergrößert wird. Wegen dieser Nachteile ist es zweckmäßig, solche Beschleunigungshilfen anzuwenden, die ohne zusätzliche Hilfsenergie oder -masse arbeiten.

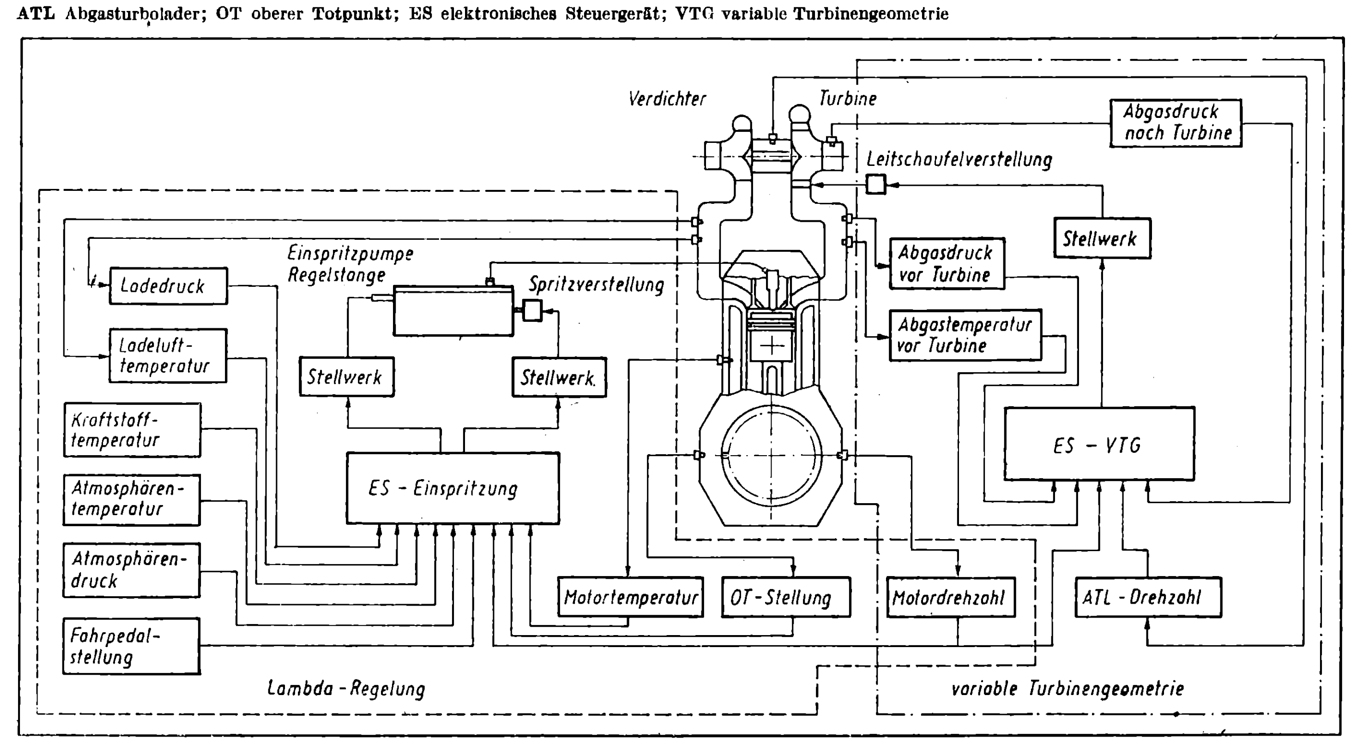
In [2] wurden u. a. Rechenmodelle aufgestellt, die die Nachbildung von Laständerungsprozessen an turboaufgeladenen Dieselmotoren gestatten. Die auf der Basis der stationären Kreisprozeßrechnung bzw. der theoretischen Prozeßanalyse der technischen Kybernetik erarbeiteten Programmsysteme ermöglichen eine die Einflußgrößen vielseitig variierende Nachrechnung des instationären Betriebsverhaltens. Weiterhin werden auf der Grundlage der rechnerischen Simulation von Laständerungsvorgängen Maßnahmen zur Verbesserung des Beschleunigungsverhaltens vorgeschlagen, die beim erreichten Stand der schnellen Meßwerterfassung und -verarbeitung mit Hilfe der Mikroelektronik in die Praxis umgesetzt werden können.

1.1. *Elektronische Drehzahl- und Lambda-Regelung*

Bei Nutzfahrzeugen ist es üblich, im Teillastbereich die Menge des eingespritzten Kraftstoffes dem Ladedruck anzupassen. Dazu dient der sogenannte ladedruckabhängige Vollastan-

Bild 1. Funktionsprinzip der Lambda-Regelung und der variablen Turbinengeometrie

ATL Abgasturbolader; OT oberer Totpunkt; ES elektronisches Steuergerät; VTG variable Turbinengeometrie



schlag (LDA). Eine plötzliche Vollasterhöhung der Fahrpedalstellung bewirkt nicht gleich eine Vollast-Regelstangenstellung, da der LDA nur eine begrenzte Bewegung der Regelstange zuläßt. Mit dem Erreichen einer Ansprechschwelle wird die Begrenzung der Kraftstoffeinspritzung durch den LDA proportional zum Ladedruck und zeitverzögert aufgehoben. Bei der Anwendung einer ladedruckabhängigen Begrenzung der Kraftstoffeinspritzung können die Nachteile des turboaufgeladenen Dieselmotors, wie die erhöhte Rußemission und die unvollständige Verbrennung, nur teilweise vermieden werden. Eine Abhilfe bietet die ständige Anpassung der Kraftstoffmenge an den Ladeluftstrom. Das Verbrennungsluftverhältnis λ_V (Verhältnis der Luftmenge im Zylinder zu der erforderlichen Luftmenge bei stöchiometrischer Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffs) soll immer so hoch sein, daß eine praktisch vollständige Verbrennung garantiert wird.

Zur Regelung von Dieselmotoren hat man elektronisch gesteuerte Einspritzsysteme entwickelt [3] und [4], die das Regelverhalten der Anlage gegenüber dem mechanischen Fliehkraftregler wesentlich verbessern. Neben der Aufgabe der Drehzahlregelung kann man durch Änderung des elektronischen Steuergerätes und durch Erhöhung der Anzahl der Eingangssignale die Anwendbarkeit dieser Systeme erweitern.

Das Prinzip einer Regelung des Verbrennungsluftverhältnisses (Lambda-Regelung) ist im Bild 1 dargestellt. Die Eingangsgrößen können durch Sensoren ermittelt und in elektrische Signale umgewandelt werden. Der wichtigste Teil des elektronischen Steuergerätes ist ein schnell arbeitender Mikrorechner, in dem die Kennfelder der Regelung in mehrdimensionaler Darstellung gespeichert sind und schnell abgerufen werden können. Aus den Eingangsdaten werden die Ausgangssignale errechnet, die durch Stellwerke zur Steuerung der Einspritzpumpe, also zur Spritzverstellung und Verschiebung der Regelstange genutzt werden.

Die Ergebnisse der Simulation von Beschleunigungsvorgängen an einem Nutzfahrzeugdieselmotor zeigen, daß durch die Anwendung der Lambda-Regelung ein zügigeres Beschleunigen des Motors, des Turboladers und daher ein schnellerer Ladedruckaufbau erreicht werden können. Weiterhin kann eine unvollständige Verbrennung des Kraftstoffes vermieden und die Rußemission verringert werden (Bild 2).

1.2. *Variable Turbinengeometrie*

Bei der Lambda-Regelung wird die Kraftstoffeinspritzung der vom Verdichter gelieferten Ladeluftmenge angepaßt. Eine Verbesserung der Luftversorgung wird dabei nur in der Endphase der Beschleunigung erreicht. Die Erhöhung der Energie der Abgase von der Turbine bewirkt ein Beschleunigen des Turboladers und somit einen schnelleren Ladedruckaufbau. In [1] stellt man die Methode der variablen Turbinengeometrie vor. Dabei wird der Anströmwinkel am Laufradeintritt der Turbine mit Hilfe eines verstellbaren Leitapparates verändert, wodurch sich die Abgase vor der Turbine aufstauen und strömungstechnisch günstig zum Laufrad geleitet werden.

Die Veränderung des Anströmwinkels zum Laufrad kann man am besten mit Hilfe eines elektronischen Steuergerätes realisieren. Als Eingangsgrößen sollen dabei Abgasdruck und Abgastemperatur vor der Turbine, Turbolader- und Motordrehzahl sowie der Druck hinter der Turbine sein. Im Steuergerät soll auch das Turbinenkennfeld gespeichert werden. Aus den Eingangsgrößen und dem Turbinenkennfeld wird die Stellung der Leitschaufel berechnet (siehe Bild 1).

Die Rechenergebnisse am untersuchten Motor zeigen, daß durch die Anwendung der verstellbaren Turbinengeometrie ein schnelleres Beschleunigen der Motorenanlage erzielt werden kann (siehe Bild 2).

Zusammenfassung

Bei Lastzuschaltungen baut sich der dem neuen Lastzustand entsprechende Ladedruck an turboaufgeladenen Dieselmotoren nur zögernd auf, wodurch es zur Verringerung der Arbeitsfähigkeit und zur Erhöhung der Rußemission des Motors kommt.

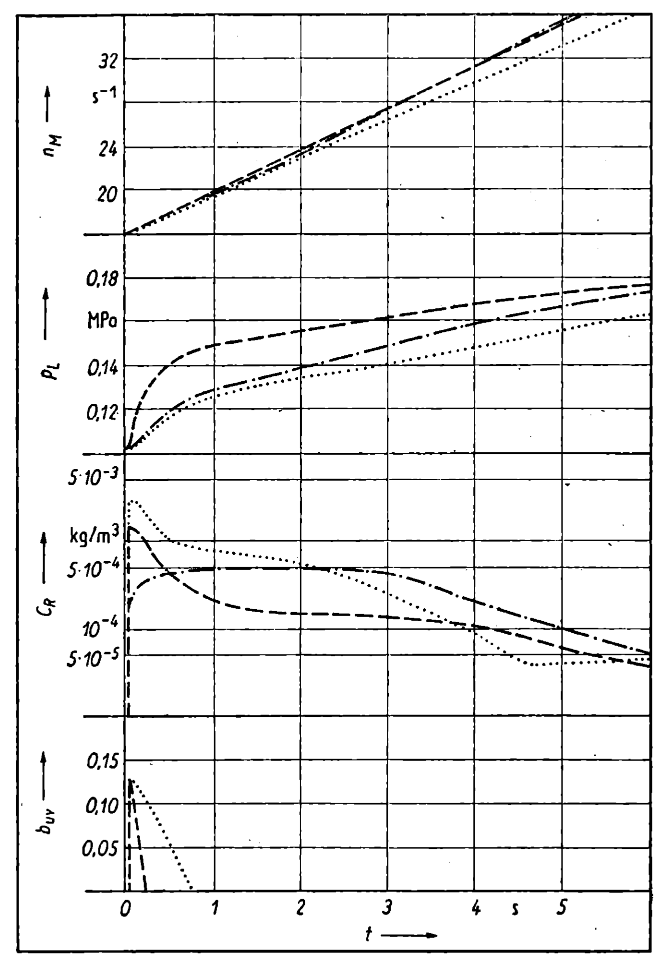


Bild 2. Beschleunigungsverhalten eines Nutzfahrzeugdieselmotors bei Anwendung von Beschleunigungshilfen

.... Standardausführung; —·—·— mit Lambda-Regelung; — — — mit variabler Turbinengeometrie

n_M Motordrehzahl; p_L Ladedruck; c_R Rußkonzentration im Zylinder am Ende der Verbrennung; b_{uv} Verhältnis der unverbrannten Kraftstoffmenge je Arbeitsspiel zu der eingespritzten Kraftstoffmenge je Arbeitsspiel; t Zeit

Um die Lastannahmefähigkeit zu erhöhen, ist die Anwendung von Hilfseinrichtungen vorteilhaft. Die simulierten Beschleunigungshilfen, die durch die Mikroelektronik in die Praxis umgesetzt werden können, tragen entscheidend dazu bei, daß die Abgasemissionsspitzen und die Wirtschaftlichkeit, insbesondere zu Beginn der Beschleunigung, verbessert werden können.

Literatur

[1] *Engels, B.; Lucks, R.; Zloch, N.:* Variable Turbinengeometrie — Anforderungen, Bauformen, Ergebnisse. MTZ 45 (1984) 12, S. 508—512.
[2] *Nevelö, S.:* Instationäres Betriebsverhalten von turboaufgeladenen Viertaktdieselmotoren. Dissertation A, TU Magdeburg, 1987.
[3] *Siegfried, G.:* Dieselmotor 6VDS 26/20 AlE-2 mit elektronisch gesteuertem Einspritzsystem. Dieselmotorennachrichten, Roßlau (1983) 1/2, S. 9—13.
[4] *Straubel, M.:* Moderne Dieseleinspritztechnik. Fortschritt-Bericht VDI, Reihe 6, Nr. 178, S. 390—415. Düsseldorf: VDI-Verlag 1985.
[5] *Tarchanow, O. A.:* Verbesserung der Luftversorgung von abgasturboaufgeladenen Dieselmotoren in Übergangsprozessen (in Russ.) Iswestia wuzow, Maschinostroenie (1980) 12, S. 82—85.

msr 8638 Dr.-Ing. *Sándor Nevelö*, Staatliches Bauunternehmen Nr. 23 (23. sz. ÁÉV), Abteilung für Maschinenwesen, Berger-Kato Service, Budapest

Ein numerisch stabiles Verfahren zur Lösung von Zustandsgleichungen

0. Einleitung

Der Beitrag befaßt sich mit einem effektiven CAD-Verfahren zur numerischen Lösung von Zustandsgleichungen auf dem Digitalrechner.
Das gegebene kontinuierliche System wird durch eine geeignete Transformation in ein diskontinuierliches überführt [1] und [2]. Mit Hilfe eines geeigneten Rekursionsverfahrens [2], das auf einem bekannten numerischen Verfahren zur digitalen Berechnung der Transitionsmatrix [3] des betrachteten Systems basiert, werden dann die Folgezustände sowie die Ausgangsgrößen des diskontinuierlichen Systems bei gegebenen Anfangszuständen und Eingangsgrößen in Abhängigkeit von der Tastzeit berechnet. Um die bisher bei der direkten Anwendung des in [3] beschriebenen numerischen Verfahrens möglicherweise auftretenden Instabilitäten auszuschließen, wird eine Idee nach [4] aufgegriffen. Für das betrachtete spezielle Problem wird ein numerischer Algorithmus entwickelt, der die numerische Stabilität des Rekursionsverfahrens sichert.

1. Aufgabenstellung

Gegeben sei ein lineares zeitinvariantes kontinuierliches System n-ter Ordnung, das mit Hilfe von Differentialgleichungen beschrieben werden kann. Nach [1] ergibt sich das folgende zu lösende Gleichungssystem:

$$\dot{\boldsymbol{q}}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{q}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) \tag{1}$$

$$\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{C}\boldsymbol{q}(t) \tag{2}$$

$\boldsymbol{A}$ Systemmatrix; $\boldsymbol{B}$ Steuermatrix; $\boldsymbol{C}$ Beobachtungsmatrix; $\boldsymbol{u}$ Eingangsvektor; $\boldsymbol{q}$ Zustandsvektor; $\boldsymbol{x}$ Ausgangsvektor.

2. Lösung der Zustandsdifferentialgleichung

Nach [1] ergibt sich für die Differentialgleichung (1) bei gegebenem $\boldsymbol{q}(t_0)$, $\boldsymbol{u}(t_0)$ und $t \geqq t_0$ die eindeutige Lösung

$$\boldsymbol{q}(t) = \boldsymbol{\Phi}(t - t_0)\,\boldsymbol{q}(t_0) + \int_{t_0}^{t} \boldsymbol{\Phi}(t - \tau)\boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(\tau)\,\mathrm{d}\tau\,, \tag{3}$$

wobei $\boldsymbol{\Phi}(t)$ die Transitionsmatrix des betrachteten Systems bezeichnet.
Für $\boldsymbol{u}(t_0) = \boldsymbol{0}$ wird das System nur durch seinen Anfangszustand bestimmt. Gilt $\boldsymbol{q}(t_0) = \boldsymbol{0}$, so wird das System allein von den Eingangsgrößen bestimmt.
Die Transitionsmatrix $\boldsymbol{\Phi}$ berechnet sich aus

$$\boldsymbol{\Phi}(t) = \mathrm{e}^{\boldsymbol{A}t}$$

mit

$$\mathrm{e}^{\boldsymbol{A}t} = \sum_{k=0}^{\infty} (\boldsymbol{A}t)^k/k! \tag{4}$$

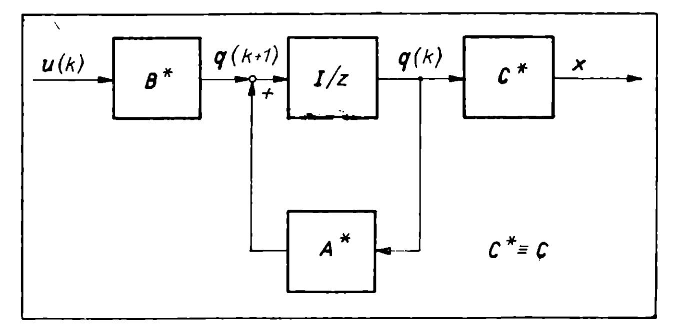
[1] und [3].

2.1. *Übergang vom kontinuierlichen zum diskontinuierlichen System*

Es wird ein diskontinuierliches System mit der Tastzeit T_A betrachtet, und es gelte

$$\boldsymbol{u}(t) = \boldsymbol{u}(kT_\mathrm{A}) =: \boldsymbol{u}(k)$$

Bild 1. Modell eines Systems mit Tastzeit nach [1]



für

$$kT_\mathrm{A} \leqq t < (k + 1)\,T_\mathrm{A}\,, \qquad k = 0, 1, 2, \ldots$$

Durch Einsetzen in (3) ergeben sich damit aus (1) und (2) für $t_0 = kT_\mathrm{A}$ und $t = (k + 1)\,T_\mathrm{A}$:

$$\boldsymbol{q}(k + 1) = \boldsymbol{A}^*\boldsymbol{q}(k) + \boldsymbol{B}^*\boldsymbol{u}(k) \tag{5}$$

$$\boldsymbol{x}(k) = \boldsymbol{C}\boldsymbol{q}(k) \tag{6}$$

mit

$$\boldsymbol{q}(k + 1) := \boldsymbol{q}((k + 1)\,T_\mathrm{A})$$

$$\boldsymbol{x}(k) := \boldsymbol{x}(kT_\mathrm{A})\,.$$

Dabei bezeichnen $\boldsymbol{A}^*$ und $\boldsymbol{B}^*$ die Systemmatrix und die Steuermatrix des diskontinuierlichen Systems. Bild 1 zeigt das Signalflußbild dieses Systems.
Die Matrizen $\boldsymbol{A}^*$ und $\boldsymbol{B}^*$ berechnen sich nach [1] wie folgt:

$$\boldsymbol{A}^* = \mathrm{e}^{\boldsymbol{A}T_\mathrm{A}} = \boldsymbol{\Phi}(T_\mathrm{A})$$

und

$$\boldsymbol{B}^* = \int_0^{T_\mathrm{A}} \mathrm{e}^{\boldsymbol{A}(T_\mathrm{A} - \tilde{\tau})}\boldsymbol{B}\,\mathrm{d}\tilde{\tau} = \int_0^{T_\mathrm{A}} \boldsymbol{\Phi}(T_\mathrm{A} - \tilde{\tau})\boldsymbol{B}\,\mathrm{d}\tilde{\tau}$$

Daraus ergeben sich:

$$\boldsymbol{A}^* = \sum_{i=0}^{\infty} (\boldsymbol{A}T_\mathrm{A})^i/i!$$

und

$$\boldsymbol{B}^* = T_\mathrm{A} \sum_{i=0}^{\infty} (\boldsymbol{A}T_\mathrm{A})^i\boldsymbol{B}/(i + 1)!\,.$$

Die Einführung der Matrix

$$\tilde{\boldsymbol{\Phi}} = \sum_{i=0}^{\infty} (\boldsymbol{A}T_\mathrm{A})^i/(i + 1)! \tag{7}$$

führt dann nach [2] auf

$$\boldsymbol{A}^* = \boldsymbol{I} + (\boldsymbol{A}T_\mathrm{A})\,\tilde{\boldsymbol{\Phi}} \tag{8}$$

und

$$\boldsymbol{B}^* = T_\mathrm{A}\tilde{\boldsymbol{\Phi}}\boldsymbol{B}\,, \tag{9}$$

wobei $\boldsymbol{I}$ die Einheitsmatrix bezeichnet.
Das bedeutet, daß auf dem Rechner nur eine Reihendarstellung zur Berechnung von $\boldsymbol{A}^*$ und $\boldsymbol{B}^*$ realisiert werden muß.

2.2. *Numerische Stabilität*

Die direkte Umsetzung der Reihen (4) bzw. (7) auf dem Rechner kann zu einer schlechten Konvergenz des numerischen Verfahrens führen. Das hat die Mitnahme vieler Terme zur Folge und bringt hohe Rechenzeiten sowie das Aufsummieren von Rundungsfehlern mit sich, wodurch das numerische Verfahren instabil werden kann.
Nach [3] können Ursachen für schlechte Konvergenz der Reihen sein:

- große Werte der Norm von $\boldsymbol{A}T_\mathrm{A}$
- große Tastzeiten T_A
- große Eigenwerte der Matrix $\boldsymbol{A}$
- große Dimension der Matrix $\boldsymbol{A}$.

Durch Berechnungen mit doppelter Genauigkeit kann die Gefahr der numerischen Instabilität bei großen Werten für die Elemente der Matrix $\boldsymbol{A}T_\mathrm{A}$ zwar verringert, jedoch nicht beseitigt werden [2]. Um die numerische Stabilität des Rekursionsverfahrens zur Lösung der Gleichungen (5) und (6) zu erreichen, wurde eine Idee nach [4] aufgegriffen und für die betrachtete spezielle Aufgabenstellung modifiziert.
Für die Matrixnorm

$$\|\boldsymbol{A}T_\mathrm{A}\| = n \cdot \max_{i,j} |(a_{ij})\,T_\mathrm{A}|$$

(siehe [5]) werden zwei Fälle unterschieden.
Gilt

$$\|\boldsymbol{A}T_\mathrm{A}\| \leqq 1\,,$$

so werden die Matrizen $\boldsymbol{A}^*$ und $\boldsymbol{B}^*$ wie bisher nach [1] und [3] berechnet. Für

$$\|\boldsymbol{A}T_\mathrm{A}\| > 1$$

wird der Ganzteil der Norm von AT_A, d. h.

$$s = [||AT_A||] ,$$

bestimmt. Dabei wird $||AT_A||$ stets aufgerundet.
Das Zeitintervall $[0, T_A]$ wird nun in s Teilintervalle der Länge T_{AS} mit

$$T_{AS} = T_A/s$$

unterteilt, d. h., es entsteht eine Ersatztastzeit T_{AS} (Bild 2). Es gilt dann

$$||AT_{AS}|| \leqq 1 .$$

Mit $\tilde{A}$ und $\tilde{B}$ werden die Systemmatrix und die Steuermatrix des diskontinuierlichen Systems mit der Tastzeit T_{AS} bezeichnet, deren Berechnung formal wie bisher die Berechnung von A^* und B^* nach [1] und [3] erfolgt, wobei die Tastzeit T_A durch die Ersatztastzeit T_{AS} ersetzt wird.
Um aber die eigentlich zu berechnenden Matrizen A^* und B^* zu erhalten, muß das gesamte Zeitintervall $[0, T_A]$ betrachtet werden (siehe Bild 2).
Die Matrizen A^* und B^* lassen sich aus den Matrizen $\tilde{A}$ und $\tilde{B}$ wie folgt berechnen:

$$q(k+1) = \tilde{A}q(k) + \tilde{B}u(k)$$

$$q(k+2) = \tilde{A}[\tilde{A}q(k) + \tilde{B}u(k)] + \tilde{B}u(k) = \tilde{A}^2 q(k) + (\tilde{A}\tilde{B} + \tilde{B})\,u(k)$$

$$\vdots \qquad \vdots$$

$$q(k+s) = \tilde{A}^s q(k) + (\tilde{A}^{s-1}\tilde{B} + \tilde{A}^{s-2}\tilde{B} + \dots + \tilde{A}\tilde{B} + \tilde{B})\,u(k) ,$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Wegen $T_A = sT_{AS}$ ergeben sich:

$$A^* = \tilde{A}^s ,$$

$$B^* = \tilde{A}^{s-1}\tilde{B} + \tilde{A}^{s-2}\tilde{B} + \dots + \tilde{A}\tilde{B} + \tilde{B} .$$

Sind die Matrizen A^* und B^* nach (8) und (9) bzw. (10) und (11) ermittelt, so erfolgt anschließend die Berechnung der Folgezustände und Ausgangsgrößen entsprechend (5) und (6). Durch diese Vorgehensweise ist nach [3] die numerische Stabilität des Rekursionsverfahrens auch für Normwerte $||AT_A|| > 1$ gesichert.

3. Beispiel

Es wird die Antwort eines Eingrößensystems mit der Systemmatrix

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix},$$

der Steuermatrix

$$B = (1 \quad 1)^T ,$$

dem Beobachtungsvektor

$$C = (1 \quad 1)$$

und dem Anfangszustand

$$q(0) = (0{,}5 \quad 0{,}5)^T$$

auf ein Eingangssignal der Form

$$u(k) = \begin{cases} 0{,}2 & \text{für} \quad k \geqq 0 \\ 0 & \text{für} \quad k < 0 \end{cases}, \qquad k = 0, 1, 2, \dots$$

gesucht. Für die Tastzeit T_A werden zwei Fälle betrachtet.

Fall 1:
Als Tastzeit wird $T_A = 0{,}125$ gewählt.
Damit gilt $||AT_A|| = 1$.
Es ergeben sich die Matrizen des diskontinuierlichen Systems

$$A_1^* = \begin{pmatrix} 1{,}1941 & 0{,}3491 \\ 0{,}5236 & 1{,}7177 \end{pmatrix}, \qquad B^* = \begin{pmatrix} 0{,}15504 \\ 0{,}19406 \end{pmatrix}$$

und daraus die Abtastwerte der Zustandsgrößen $q = (q_1 q_2)^T$ und der Ausgangsgröße $x(k)$:

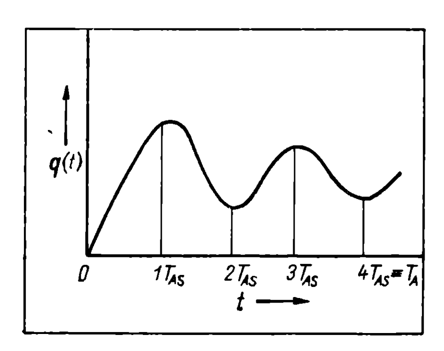


Bild 2. Aufteilung der Tastzeit für s = 4

k	$q_1(k)$	$q_2(k)$	$x(k)$
0	0,5000	0,5000	1,0000
1	0,8026	1,1595	1,9621
2	1,3941	2,4508	3,8449
3	2,5512	4,9785	7,5297
4	4,8153	9,9264	14,7420
5	9,2461	19,6110	28,8570
6	17,9180	38,5670	56,4840
7	34,8890	75,6670	110,5600

Fall 2:
Für die Tastzeit $T_A = 0{,}25$ gilt $||AT_A|| = 2 > 1$, d. h. $s = 2$, und als Ersatztastzeit erhält man $T_{AS} = 0{,}125$. Damit ergeben sich die Matrizen:

$$\tilde{A}_2 = A_1^* ,$$

$$A_2^* = \begin{pmatrix} 1{,}6086 & 1{,}0165 \\ 1{,}5247 & 3{,}1333 \end{pmatrix}, \qquad B^* = \begin{pmatrix} 0{,}4078 \\ 0{,}6086 \end{pmatrix}$$

und damit die Werte:

k	$q_1(k)$	$q_2(k)$	$x(k)$
0	0,5000	0,5000	1,0000
1	1,3941	2,4508	3,8449
2	4,8153	9,9264	14,7420
3	17,9180	38,5670	56,4840
4	68,1060	148,2800	216,3900
5	260,3700	568,5900	828,9500

Ergebnis:
Beide Fälle unterscheiden sich nur durch die Tastzeiten. Die Tastzeit T_A aus Fall 1 wird zur Ersatztastzeit T_{AS} im Fall 2 mit $s = 2$. Es gilt $A_2^* = \tilde{A}_2^2 = A_1^{*2}$.
Die Werte für $q(k)$ und $x(k)$ entsprechen für jedes k im Fall 2 jeweils den Werten für jedes zweite k ($s = 2$) aus Fall 1. Auch für den Fall 2 ist die numerische Stabilität des Rekursionsverfahrens gewährleistet.

Zusammenfassung

Das beschriebene Verfahren realisiert die Lösung von Zustandsgleichungen nach einem geeigneten Rekursionsverfahren. Es ist besonders zur Anwendung auf dem Personalcomputer PC 1715 geeignet und wurde auch dort getestet.
Damit ist es möglich, das Zustands- und Ausgangsverhalten bekannter kontinuierlicher Systeme über einen bestimmten Zeitabschnitt zu beobachten.
Durch eine geeignete Wahl der Tastzeit wird dabei die numerische Stabilität aller Berechnungen gesichert.

Literatur

[1] *Göldner, K.:* Mathematische Grundlagen der Systemanalyse. Band 2. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1982.
[2] *Grimm, K.:* Weiterentwicklung des Programmpaketes ZUREG. Diplomarbeit TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik, 1987.
[3] *Föllinger, O.:* Regelungstechnik. 4., verbesserte Auflage. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH 1984.
[4] *Plant, J.-B.:* On the Computation of Transitions Matrices for Time-Invariant Systems. Proc. IEEE (1968) 8, S. 1397–1398.
[5] *Schwarz, H. R.; Rutishauser, H.; Stiefel, E.:* Matrizennumerik. Stuttgart: B. G. Teubner 1968.

Dr. rer. nat. *E. Stadler*, TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik, Lehrstuhl Regelungstechnik

msr 8068

Neue Festlegungen zu Kabeln und Leitungen für Automatisierungsanlagen

Ab 1. März 1987 ist die Neuausgabe des Standards TGL 32991/13 [1] für in Automatisierungsanlagen eingesetzte Kabel und Leitungen verbindlich (siehe auch [2] und Tafel 1).

Der neue, nicht für Be- und Verarbeitungsmaschinen nach TGL 200-0655 [3] gültige Teil 13 von TGL 32991 [1] erfüllt die vorgegebenen technischen und ökonomischen Zielstellungen und ergänzt die bestehenden Standards für Starkstrom- und Informationsanlagen nach TGL 200-0612/02 und /06 [4] und [5] und TGL 200-0613/02 und /03 [6] und [7] für den Bereich der Automatisierungsanlagen. Bei der Auswahl von Kabeln und Leitungen für Automatisierungsanlagen sind jetzt neben den bereits in [4] bis [7] angegebenen ergänzend folgende Legungsarten zulässig:

- Thermoausgleichsleitungen in Wärmedämmstoffen
- Silikongummiisolierte Thermoausgleichsleitungen in Wasser
- HF-Kabel (nach Abstimmung mit deren Hersteller) in Erde und in unzugänglichen Trassen außerhalb von Bauwerken.

Ebenso wurde durch die direkte Angabe von zulässigen standardisierten Leiterwerkstoffen für in Automatisierungsanlagen einsetzbare Kabel und Leitungen und deren Leitermindestquerschnitte eine empfindliche Lücke in [1] geschlossen. Danach ist der ökonomische Einsatz von Cu- und Al-Leitern und auch von Al/Cu-Verbundleitern legitimiert worden. Desgleichen konnten auch verbindliche Leitermindestquerschnitte nach Tafel 2 für Anlagen und in diese eingesetzte fabrikfertige Baueinheiten festgelegt werden.

Der nach Tafel 2 mögliche Einsatz von Al-Leitern oder Al/Cu-Verbundleitern mit den notwendigen hohen Querschnitten erfolgt in der Regel bei Leitungen für die Versorgungsenergien und seltener bei längeren Leitungswegen in Außenanlagen bzw. höheren Belastungen von MSR-Stellen. Diese Leitungen sind kein Ersatz für die im Automatisierungsanlagenbau allgemein verwendeten Cu-Leiternennquerschnitte von 0,2 bzw. 0,35 mm².

Als Besonderheit ist auch der mögliche Einsatz der vom Kombinat KWO neu entwickelten Al/Cu-Verbundleiter in den Querschnitten 0,75 ... 1,5 mm² [8] innerhalb von fabrikfertigen Baueinheiten und in Außenanlagen bei Spannungen bis 42 V Wechselstrom oder 60 V Gleichstrom sowie in eigensicheren Stromkreisen nach TGL 200-0621 zu nennen [9]. Die für Automatisierungsanlagen hergestellten Lötanschlüsse und -verbindungen müssen nach [1] den in TGL 35274 [10] festgelegten Verfahren und Abnahmebedingungen für Lötausführungen für Lötanschlüsse und bestückte Leiterplatten entsprechen. Beim Einsatz von Al/Cu-Verbundleitern mit dem Querschnitt von 0,75 mm² dürfen Verbindungen und Anschlüsse stets nur durch Löten hergestellt werden.

Ebenfalls neu geregelt wurden in Ergänzung zu TGL 32991/21 [11] die Kennzeichnungspflichten für Kabel und Leitungen in Automatisierungsanlagen. Danach sollen Leiterumhüllungen durch folgende Farben gekennzeichnet werden:

- Energieversorgungs-, Steuer- und Informationsleitungen vorzugsweise durch die Farbe Schwarz
- Neutralleiter ohne Schutzleiterfunktion (N) durch die Farbe Schwarz oder in Anlagen vorzugsweise die Farbe Blau
- Schutzleiter (PE) und Nulleiter (PEN) durch das Farbpaar Grün-Gelb
- Potentialausgleichsleitung (PA) vorzugsweise durch das Farbpaar Grün-Gelb
- Schirmleitung durch die Farbe Weiß oder ohne Farbe (blank)
- Leitungen in eigensicheren Stromkreisen nach TGL 200-0621 [9] durch die Farbe Hellblau.

Eine zusätzliche veränderte äußere Kennzeichnung von Kabeln und Leitungen durch Kabelkennzeichnungsbänder nach TGL 200-0560 [12] wurde ebenfalls festgelegt mit

- blauen Bändern für Stromkreise ab 380 V
- braunen Bändern für Stromkreise bis 380 V

bzw. mit hellblauem Farbanstrich für eigensichere Stromkreise nach [9].

Tafel 1. Kabel und Leitungen für Automatisierungsanlagen (ergänzend zu [4] bis [7])

Kabel- und Leitungsart	Kurzzeichen des Kabels/der Leitung	Leitergrenztemperatur in °C	Erzeugnisstandard
Schiffsplastaderleitung	NMYb, NMYf	75	KWO-S 421.05
Fm-Schlauchleitung	HG(C)G	60	TGL 807/05
	HYF(C)Y	70	TGL 807/05
Thermoausgleichsleitung – plastisoliert	TYYf TYYflF	70	TGL 24451/15
– silikongummiisoliert	T2G2Gf T2G2GRfl T2G2GRf	180	TGL 24451/16
– glasseideisoliert	TGsGsfl TGsGsRfl		
Thermoanschlußleitung	RGsGeRfl R2G2GR	180	TGL 24451/14
HF-Kabel	75-5-C2A 75-4-4 75-7-Em 240-D5-2	60	TGL 200-1579/22 TGL 200-1579/20 TGL 200-1579/24 TGL 33801/11
NF-Kabel	2Y(MF)Y		TGL 200-1708/18
	2Y(MF)2Y 2Y2Y	60	TGL 200-1708/14
	2Y2YOY		TGL 200-1708/11

Tafel 2. Leitermindestquerschnitte für Automatisierungsanlagen

Anwendung		Leitermindestquerschnitte in mm² Kupfer	Aluminium	Al/Cu-Verbundleiter
Automatisierungsanlagen (außerhalb von fabrikfertigen Baueinheiten)	> 42 V Ws	0,35		2,5
	> 60 V Gs		2,5	
	≦ 42 V Ws ≦ 60 V Gs	0,2		1,0
eigensichere Stromkreise		nach TGL 200-0621/05		
innerhalb von fabrikfertigen Baueinheiten – allgemein		0,35	2,5	1,5
– für Energieversorgungs- und Signalstromkreise		0,2		0,75
– für Anschlußleitungen von elektronischen Baugruppen		0,2	–	–
– für Bündelverdrahtung und Mehraderleitung zu elektronischen Baugruppen		0,07		
innerhalb von Geräten und Baugruppen		0,2 0,07	–	–

Literatur

[1] TGL 32991/13 Automatisierungsanlagen; Einsatz elektrischer Kabel und Leitungen. Ausgabe April 1986.
[2] *Kloust, H.*: Errichtungsvorschriften für Automatisierungsanlagen – Standard TGL 32991 – Automatisierungsanlagen. Ausgabe Juni 1970. Elektrie, Berlin 31 (1977) 9, S. 478–481.
[3] TGL 200-0655 Elektrotechnische Ausrüstungen für Be- und Verarbeitungsmaschinen. Ausgabe 1979.
[4] TGL 200-0612/02 Kabel in elektrotechnischen Anlagen; Starkstromkabel; Allgemeine technische Forderungen. Ausgabe Januar 1979.
[5] TGL 200-0612/06 Kabel in elektrotechnischen Anlagen; Fernmeldekabelanlagen. Ausgabe Januar 1982.
[6] TGL 200-0613/02 Leitungen in elektrotechnischen Anlagen; Einsatz in Starkstromanlagen. Ausgabe April 1982.
[7] TGL 200-0613/03 Leitungen in elektrotechnischen Anlagen; Einsatz in Informationsanlagen. Ausgabe Juni 1977.
[8] Anwendungstechnische Information Nr. 4/82: Schaltdraht, Plastaderleitung mit Al/Cu-Leiter. Kombinat KWO. 1. überarbeitete Ausgabe Februar 1984.
[9] TGL 200-0621 Elektrotechnische Anlagen in explosivstoffgefährdeten Betriebsstätten. Ausgabe Januar 1978.
[10] TGL 35274 Elektrotechnik; Handlöten mit Lötkolben. Ausgabe 1978.
[11] TGL 32991/21 Automatisierungsanlagen; Kennzeichnungen. Ausgabe Oktober 1981.
[12] TGL 200-0560 Elektrotechnische Anlagen; Kabelkennzeichnungsbänder. Ausgabe Oktober 1982.

Ing. Ing. *H. Kloust*, Koordinierungsbeauftragter für Standardisierungsaufgaben der Automatisierungstechnik im ZFT des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau Berlin

msr 8697

Einrichtung zur Messung der Gewebelänge in der laufenden Produktion

1. Aufgabenstellung

An Einrichtungen zur Messung der Gewebelänge in der laufenden Produktion werden folgende Anforderungen gestellt:

- zuverlässige Arbeitsweise des Meßgerätes
- exakte Wiedergabe der Vorschubbewegung des zu messenden Gewebes durch den Meßfühler
- Verhinderung von Schlupf zwischen Meßfühler und Gewebe
- geringe Trägheit des Meßfühlers
- Wiederholbarkeit der Messung
- keine Beschädigungen des zu messenden Gewebes durch die Meßeinrichtung
- hohe Meßgenauigkeit
- Kompatibilität zwischen Meßumformer und Rechner
- laufende Anzeige der gemessenen Gewebelänge
- Registrierung der gemessenen Gewebeabschnitte

2. Wirkungsweise der Meßeinrichtung

Als Meßwandler (Bild 1) wird ein ferromagnetisches Band 1 eingesetzt, das auf Lagerrollen 2 geführt wird und frei auf der Oberfläche des zu messenden Gewebes 3 liegt [1] bis [3]. Das Gewebe läuft zwischen dem Fühler und einem Elektromagneten 4. Das Magnetfeld des Elektromagneten zieht das ferromagnetische Band an und gewährleistet so ohne Schlupf dessen Transport an der Oberfläche des bewegten Gewebes. Das Band trägt eine Teilung, die während der Bewegung durch ein induktives bzw. fotoelektrisches System des Sensors 5

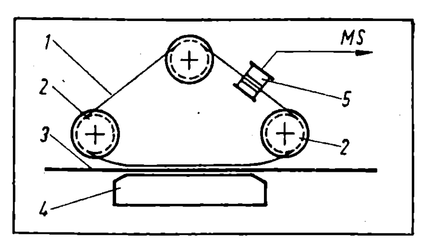


Bild 1. Prinzipskizze des Meßumformers zur Messung der Gewebelänge in der laufenden Produktion /3/

abgetastet wird. Der Sensor erzeugt elektrische Impulse. Das Blockschaltbild der Einrichtung zur Messung der Gewebelänge ist im Bild 2 dargestellt. Das Meßsignal MS wird vom Meßwandler (Bild 1) zum Richtungsdiskriminator 6 geleitet [4], dessen Ausgang steuert den 7-Dekaden-Vor-/Rückwärtszähler 7 an. System 8 registriert die Verschiebung des Kommas in Abhängigkeit vom Wert der gezählten Gewebelänge. Jeweils vier Ziffern werden angezeigt. Der Anschluß der vier Dekoder der Ziffernanzeige 10 an die entsprechenden Dekaden des Zählers erfolgt über die Kommaverschiebeeinrichtung 8. An der in Längeneinheiten kalibrierten Ziffernanzeige kann die gemessene Gewebelänge abgelesen werden. Das System 9 erzeugt Steuerungssignale aus den Ausgängen der drei letzten Dekaden des Zählers.

Die zu einem beliebigen Zeitpunkt gemessene Gewebelänge kann vor der Rückstellung des Längenmessers zum Drucker übertragen und ausgedruckt werden. Dadurch ist die laufende Registrierung der gemessenen Gewebeabschnitte an der entsprechenden Arbeitsstelle möglich [1]. Mit der Rückstellung des Zählers erfolgt zugleich die Übertragung des Zählerstandes in den Pufferspeicher 11. Der dort gespeicherte Meßwert wird über das Sendesystem 12 zum Empfängersystem 14 und das Druckersteuersignal mit dem Übertragungssystem 13 zur Druckersteuerung 17 übertragen. Die Übertragung kann über Kabel oder Funk erfolgen. Sowohl das Steuerungssystem des Druckers 15 als auch der Drucker 16 sind mit dem Drucksteuerer 17 verbunden, der mit dem Kommaverschiebungssystem gekoppelt ist. Der elektronische Teil der Einrichtung wird ausschließlich mit TTL-Bausteinen realisiert [5].

3. Ergebnisse

Die durchgeführten Laboruntersuchungen und der Industrieeinsatz der Meßeinrichtung zeigten folgende Ergebnisse und Schlußfolgerungen:

- Die Einrichtung zur Messung der Gewebelänge in der laufenden Produktion weist eine hohe Meßgenauigkeit von 0,5% auf.
- Die Vergrößerung der Berührungsfläche des Meßfühlers mit dem Gewebe beseitigt theoretisch die Fehler, die durch Schlupf verursacht werden.
- Zur Vermeidung von Fehlern in den Phasen: Anlauf, Anhalten, Rücklauf ist ein Meßfühler mit sehr kleiner Trägheit einzusetzen.
- Es ist möglich, in beliebigen Zeitabschnitten den Wert der gemessenen Gewebelänge zu registrieren.
- Das System zur Registrierung der Angaben ist für die Bedienung von acht Meßstellen vorgesehen.
- Der Meßfühler muß sehr sorgfältig gefertigt werden.
- Das Ausgangssignal ist kompatibel zu Mikroprozessorsystemen.

Bild 2. Blockschaltbild der Meßeinrichtung
Erläuterungen siehe Text

Literatur

[1] *Kieltyka, L.* u. a.: Opracowanie i wykonanie urzadzenia do pomiaru długości tkanin na stanowisku technologicznym maszyny wykończalniczej w CZPB „Ceba" (Entwicklung und Konstruktion eines Gerätes zur Messung der Gewebelänge an Fertigungsarbeitsplätzen im Textilbetrieb CZPB „Ceba"). Forschungsarbeit Nr. BZ-21-5/84/S, TH Częstochowa.

[2] *Sowiński, A.*: Cyfrowa technika pomiarowa (Digitale Meßtechnik). Warschau: WKiŁ 1976.

[3] *Kiełtyka, L.; Sosiński, R.; Borowik, L.; Rutkowski, L.*: Przyrzad do pomiaru długości (Einrichtung zur Längenmessung). Zgłoszenie Patentowe P.255960.

[4] *Kiełtyka, L.*: Układ przetwarzania kolejności napięciowych przebiegów zmiennych na dwuwartościowy sygnał cyfrowy (System zur Umformung der Reihenfolge von Spannungsverläufen in ein zweiwertiges Digitalsignal). Patent Nr. 137 670.

[5] *Sasal, W.*: Układy scalone serii UCA 64/UCY 74. Parametry i zastosowania (Integrierte Schaltkreise der Reihe UCA 64/UCY 74. Parameter und Anwendung). Warschau: WKiŁ 1985.

msr 8650 *L. Kiełtyka*

Gespräch mit G. K. Krug

Prof. Dr. sc. techn. *German Karlovič Krug*, der Leiter des Lehrstuhls für Automatik am Moskauer Energetischen Institut (MEI), besuchte in diesem Jahr im Zusammenhang mit der Koordinierungsberatung zur „Schaffung von Systemen zur Automatisierung der wissenschaftlichen Forschung und experimentellen Arbeit“ im Komplexprogramm des wissenschaftlich-technischen Fortschritts der Länder des RGW, die vom 9. bis 13. März 1987 in Eberswalde stattfand, die DDR. Wir baten Herrn Prof. Dr. sc. oec. *Johann-Adolf Müller*, Leiter des WB Systemforschung an der Hochschule für Ökonomie Berlin, Prof. *Krug* einige Fragen zu stellen (Bild). Lesen Sie die folgende Wiedergabe des Gesprächs.

J.-A. Müller:

Die fortschrittliche Menschheit feiert in diesem Jahr gemeinsam mit allen Bürgern der UdSSR den 70. Jahrestag der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution. Was bewegt Sie in diesem Zusammenhang?

G. K. Krug:

Ich freue mich, daß ich die Gelegenheit erhalte, den Lesern der msr einige Gedanken mitzuteilen, denn wir, d. h. das Kollektiv des Lehrstuhls Automatik des MEI, schätzen diese Zeitschrift sehr, und mit besonderer Freude und Aufmerksamkeit haben wir Ihren Bericht über das MEI im Heft 4/1986 aufgenommen.
Doch zu Ihrer Frage: 70 Jahre sind seit der Oktoberrevolution vergangen. Was in diesem Zeitraum durch unser Sowjetvolk an Leistungen vollbracht wurde, kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Es waren Jahre angespannten Kampfes um die Freiheit unseres Volkes, um den Frieden, Fortschritt und Wohlstand auf unserem Territorium und weit darüber hinaus. Bei allen Problemen, die heute noch zu lösen sind und auf die unsere Parteiführung mit Nachdruck verweist, bleiben es Jahre großer Erfolge und Errungenschaften, wie sie nur im Sozialismus möglich sind.

J.-A. Müller:

Was bedeutet dieser Zeitraum von 70 Jahren für die Entwicklung der Technischen Kybernetik?

G. K. Krug:

Nach der Oktoberrevolution entstand mit der Stärkung der Volkswirtschaft die Voraussetzung für die breite Entwicklung auch der technischen Wissenschaften. Bereits in den zwanziger Jahren wurden die theoretischen Grundlagen der Automatik durch eine Reihe wichtiger staatlicher Maßnahmen, wie Bildung von Forschungsinstituten und Laboratorien, gelegt. Im Ergebnis dieser Entwicklung entstand die Notwendigkeit, eine neue Fachrichtung ins Leben zu rufen. Bereits 1935 wurde an einigen führenden Hochschulen der UdSSR die Fachrichtung „Avtomatika i telemechanika“ (Automatik und Fernwirktechnik) gegründet. An der Akademie entstand in dieser Zeit das wissenschaftliche Zentrum „Institut für Automatik und Fernwirktechnik“ (IAT, heute Institut für Steuerungsprobleme, siehe msr, Berlin 28 (1985) 5, S. 234–235).

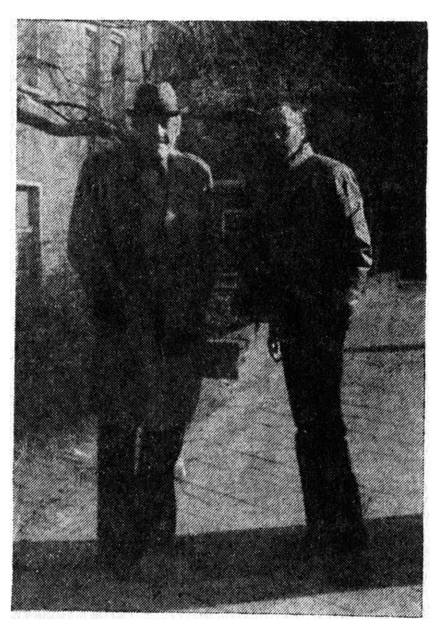


Bild. Prof. *Krug* (links) und Prof. *Müller*

All das stimulierte natürlich die Wissenschaftsentwicklung, so daß Ende der 30er Jahre bereits ein beachtlicher Erkenntnisfortschritt auf dem Gebiet der Regelungstechnik zu verzeichnen war. Insbesondere betraf das die Einführung der Darstellung im Frequenzbereich. In dieser Zeit wurden von sowjetischen Wissenschaftlern neue Probleme, wie Regelgüte, Synthese von Reglern, Stabilität u. a., nicht nur aufgezeigt, sondern auch einer Lösung zugeführt.
Die Zeit nach dem Großen Vaterländischen Krieg war aus der Sicht der Regelungstechnik durch die Entwicklung der Theorie nichtlinearer Systeme, die Herausbildung der Theorie der Systeme der optimalen Steuerung und der Extremwertregelung bzw. auch adaptiver und selbsteinstellender Systeme gekennzeichnet. Eng im Zusammenhang damit standen die Herausbildung der Rechentechnik und ihre Anwendung. Letztlich ermöglichte ja die Rechentechnik ganz neue Dimensionen für die Steuerung.
Damit wurde bis zum Ende der vierziger Jahre im Ergebnis der Entwicklung der Wissenschaftsdisziplinen, die die Prozesse der Steuerung in verschiedenen Gebieten der Technik, Biologie, Soziologie, Ökonomie u. a. Bereichen untersuchten, eine Basis für die wissenschaftliche Verallgemeinerung geschaffen. Es entstand eine neue Wissenschaftsdisziplin, die Kybernetik, deren weitere Entwicklung (einschließlich des Beitrages der Sowjetwissenschaften, der von Freund und Feind gleichermaßen anerkannt wird) den Lesern der msr sicher gut vertraut ist.

J.-A. Müller:

Die Vorbereitungen des 70. Jahrestages, aber auch die Feierlichkeiten anläßlich des Jubiläums selbst, werden stark von den Anstrengungen des gesamten Sowjetvolkes bei der Umgestaltung aller Bereiche der sozialistischen Gesellschaft, wie sie vom XXVII. Parteitag der KPdSU beschlossen wurden, geprägt. Können Sie Konsequenzen aus diesem Prozeß aufzeigen?

G. K. Krug:

Es ist richtig, daß von der Umgestaltung im Sinne des XXVII. Parteitages alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens erfaßt sind. Insofern überlagert sich (wenn man dies auf die einzelne Person bezieht) eine Vielzahl von Prozessen auch aus der geistigen, moralischen, kulturellen Sphäre bis hin zur weiteren Ausgestaltung der sozialistischen Demokratie, aber auch der Bekämpfung von Erscheinungen, die dem sozialistischen Lebensanspruch vom Kern her fremd sind, z. B. Verstöße gegen das Leistungsprinzip, Bürokratismus, Gleichgültigkeit u. a., mit den eigentlichen Prozessen der Arbeit, der menschlichen Tätigkeit. Ich persönlich trage mein Teil in der wissenschaftlichen, wissenschaftsorganisatorischen und hochschulpädagogischen Tätigkeit bei. Letztlich hängt der Erfolg natürlich auch vom Einzelnen ab, seiner effektiven und ehrlichen Arbeit, den Anstrengungen, die jeder einzelne unternimmt.

J.-A. Müller:

Aus den Auswirkungen des Prozesses der Umgestaltung auf die Wissenschaft und Technik resultieren die Schaffung eines „Staatlichen Komitees der UdSSR für Rechentechnik und Informatik“, die Bildung der Abteilung Informatik, Rechentechnik und Automatisierung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR sowie die Beschlüsse des ZK der KPdSU und des Ministerrates vom Dezember 1985 zur Entwicklung effektiver Organisationsformen für die Realisierung des gesamtstaatlichen Pro-

gramms für die Entwicklung, Herstellung und Anwendung der Rechentechnik und automatischer Systeme in Form entsprechender Komplexe unter Beteiligung verschiedener Industriezweige.

Damit wurden materiell-technische und organisatorische Voraussetzungen für die Realisierung eines Programms zur Umgestaltung der Planung und Leitung in allen Ebenen der Volkswirtschaft geschaffen, vom Betrieb über den Industriezweig bis zur gesamten Leitung der Volkswirtschaft auf der Grundlage von EDV-Anlagen. Unter der Bezeichnung ASU war das ja bereits seit langem Bestandteil der Beschlüsse Ihrer Partei und Regierung.

G. K. Krug:

Richtig, neue Organisationsformen sind vor allem die interdisziplinären wissenschaftlich-technischen Komplexe — Formen des zwischenindustriezweiglichen Herangehens an die Realisierung der ganzen Kette der wissenschaftlichen Forschung, von der Grundlagenforschung bis hin zur umfassenden Einführung in die Volkswirtschaft einschließlich einer Anzahl von Beschlüssen zur Nutzung des geistigen Potentials, der Qualifizierung der Werktätigen in den Betrieben.

J.-A. Müller:

Womit wir bei der Erziehung und Ausbildung der Studenten sind. Sie sind uns in der DDR auch als erfolgreicher Hochschullehrer bekannt, von Ihrem Lehrstuhl werden umfangreiche Arbeiten auf dem Gebiet der Ausbildung realisiert. In der letzten Zeit wurden einige Beschlüsse zur Umgestaltung des Hochschulwesens in der UdSSR vorbereitet und demnächst verabschiedet. Hat sich dieser Prozeß bereits am MEI ausgewirkt?

G. K. Krug:

Diese Beschlüsse werden seit längerem im Hochschulkollektiv beraten, deshalb kam auch unser Minister für Hochschulwesen in das MEI zu einer Diskussion. Was ist der Inhalt der Maßnahmen, wenn wir von der Verbesserung der materiell-technischen Bedingungen in den Hochschulen, der materiellen Stimulierung der Studenten und Hochschullehrer einmal absehen?

Zum einen geht es, wie in der DDR, um eine Erhöhung der Rolle des selbständigen, schöpferischen Studiums. Wir suchen nach Formen der selbständigen, schöpferischen Arbeit der Studenten, und dieses Problem ist nicht allein damit gelöst, daß wir den Anteil der obligatorischen Ausbildung erheblich reduzieren. Neben der Aufteilung der Seminargruppen in kleinere Einheiten bei Labortätigkeiten, Seminaren, Praktika u. a. wird dabei der Diskussion, den Planspielen, der Modellierung von Produktionssituationen und aktiven Unterrichtsformen großer Platz einzuräumen sein. Selbständiges Element der Ausbildung wird die studentische Forschung. In diesem Zusammenhang kommt der Selbstverwaltung der Studenten große Bedeutung zu; insbesondere wächst die Rolle des Komsomol. Die Diskussionen zur Ausgestaltung dieser Formen sind am MEI noch lange nicht beendet. Große Anforderungen erwachsen auch dem Hochschullehrer. An sein methodisch-didaktisches Vermögen, aber auch an seine wissenschaftlichen Fähigkeiten werden hohe Erwartungen geknüpft. Besondere Aufmerksamkeit wird daher der obligatorischen Weiterbildung des Lehrkörpers gewidmet, es entsteht ein entsprechendes Weiterbildungssystem.

Andererseits müssen besonders die Anstrengungen erwähnt werden, die zu einer engeren Verbindung von Praxis und Hochschulausbildung führen sollen. In diesem Zusammenhang entstehen sowohl Filialen der Lehrstühle in den Kombinaten als auch wissenschaftliche Produktionskomplexe und Experimentalproduktionsabschnitte an den Hochschulen, die von führenden Industriezweigen bzw. Kombinaten einzurichten sind. Im letzten Jahr ihrer Ausbildung gehen die Studenten in diese Filialen oder arbeiten in den Labors und Experimentalabschnitten, wobei die Lehrtätigkeit weitgehend von Vertretern der Praxis durchgeführt wird und moderne Gerätetechnik zum Einsatz kommt.

J.-A. Müller:

Auch in der DDR wird zur Zeit an der Umgestaltung der Ausbildung für Ingenieure und Ökonomen entsprechend einem Beschluß unserer Parteiführung gearbeitet. Ein wesentliches Anliegen ist dabei die Individualisierung des Studiums. Offenkundig bieten sich hier viele Möglichkeiten der umfassenden Zusammenarbeit zwischen unseren Hochschuleinrichtungen und denen in der UdSSR. Beispielsweise hat Ihr Lehrstuhl in der Zusammenarbeit mit der TH Ilmenau, Sektion TBK, seit langem sehr gute Erfahrungen. Neben dem Austausch von Lehrkräften ist es zu einer guten Tradition geworden, daß Studenten im letzten Semester an der jeweiligen Partnereinrichtung ihre Diplomarbeit anfertigen.

Sie stimmen mir sicher zu, daß die wissenschaftliche Arbeit und die von Ihnen genannten Aufgaben im Zusammenhang letztlich nur durch die gemeinsamen Anstrengungen der sozialistischen Länder zu bewältigen sind?

G. K. Krug:

Wir dürfen in den Anstrengungen in der internationalen Zusammenarbeit der RGW-Länder nicht nachlassen. In diesem Zusammenhang wurde das Komplexprogramm geschaffen. Dazu diente auch die Koordinierungsberatung, deretwegen ich in Ihrem Lande gerade zu Gast bin. Auf dieser Beratung sind wir ein gutes Stück vorangekommen.

J.-A. Müller:

Woran Sie als Wissenschaftler zweifellos einen hervorragenden Anteil haben. Gestatten sie mir abschließend, Ihnen zur Verleihung des Preises des Ministerrates der UdSSR für die „Ausarbeitung von Software und Anwendung der Rechentechnik für die Lösung von Ingenieuraufgaben" ganz herzlich, auch im Namen der Leser der msr, zu gratulieren und Ihnen weitere Erfolge zu wünschen. msr 8713

Die Mitarbeiter der Redaktion msr schließen sich den guten Wünschen an und danken Herrn Prof. Krug und Herrn Prof. Müller für die interessanten Auskünfte.

Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen Sowjetrepublik (ANUSSR) Institut für Kybernetik „V. M. Gluškov"

Die Entwicklung der Kybernetik in der Ukrainischen Sowjetrepublik, in der UdSSR, aber auch darüber hinaus, ist eng verbunden mit der Herausbildung und Entwicklung des Instituts für Kybernetik bei der Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen Sowjetrepublik (ANUSSR), das seit dem Tode seines Begründers, *V. M. Gluškov*, im Jahre 1982 dessen Namen trägt und 1987 30 Jahre alt wird.

Die eigentliche Gründung des Instituts liegt sogar schon 40 Jahre zurück, denn 1947 wurde das Labor für „Modellierung und Rechentechnik" am Institut für Elektrotechnik der ANUSSR auf Initiative des Akademiemitgliedes *S. A. Lebedev* gebildet. Damit wurde nicht nur der Grundstein für das zukünftige Institut, sondern auch für die Entwicklung der sowjetischen Rechentechnik und verschiedene Wissenschaftsdisziplinen der Kybernetik gelegt.

Bereits 1949 erfolgte mit dem Auftrag, elektronische Datenverarbeitungsanlagen zu entwickeln, eine Spezialisierung dieses Labors auf die digitale Rechentechnik. 1951 war die erste sowjetische Rechenmaschine „MESM" konstruiert. 1956 wurde das Labor in ein Labor für Rechentechnik beim Institut für Mathematik der ANUSSR und dieses dann 1957, also vor nunmehr 30 Jahren, in das Rechenzentrum der Akademie der Wissenschaften der USSR mit den Rechten eines wissenschaftlichen Forschungsinstituts umgebildet. Geleitet wurde das Rechenzentrum von dem bekannten Kybernetiker *V. M. Gluškov*.

Von den Wissenschaftlern des Rechenzentrums wurden die spezialisierte elektronische Rechenmaschine „SESM" zur Lösung linearer algebraischer Gleichungen und die universelle Rechenanlage „Kiew" entwickelt. Letztere fand bereits damals zur Mustererkennung und zur Steuerung von Produktionsprozessen Anwendung. 1961 beendete das Kollektiv des Rechenzentrums die Entwicklung des ersten Prozeßrechners „Dnepr", der zur Lösung von Automatisierungsaufgaben benutzt wurde.

1962 wurde schließlich aus dem Rechenzentrum der ANUSSR das jetzige Institut für Kybernetik der ANUSSR gebildet. An seine Gründung wurde die Erwartung geknüpft, daß eine weitere Konzentration auf die Lösung der Probleme der Kybernetik erfolgt, was große Bedeutung für die weitere Entwicklung von Wissenschaft und Technik und insbesondere für die komplexe Automatisierung und Vervollkommnung der operativen Leitung und Planung der Volkswirtschaft im Rahmen der ASU-Konzeption hatte.

Unter unmittelbarer Leitung von *V. M. Gluškov* entstand eine Reihe sowjetischer EDV-Anlagen und Steuerungssysteme; neue Produktionstechnologien für Maschinen und für Bauelemente wurden geschaffen. Eine solch schnelle und erfolgreiche Entwicklung des Instituts war nur durch die Beachtung von zwei Grundprinzipien möglich, die der wissenschaftlichen Arbeit dieses Instituts stets zugrunde lagen.

Das eine dieser Prinzipien hat die Einheit von Theorie und Praxis, von Grundlagenforschung und Anwendungsforschung zum Inhalt. Am Institut für Kybernetik wurde ganz in diesem Sinne 1963 ein „Spezielles Konstruktionsbüro für mathematische Maschinen und Systeme" mit einem eigenständigen Versuchsbetrieb geschaffen. Die Vereinigung von wissenschaftlichen Forschungsarbeiten im Institut für Kybernetik mit Konstruktions- und Produktionsarbeiten in diesem Betrieb unter einheitlicher wissenschaftlicher Leitung beschleunigte die Einführung der Wissenschaft in die Produktion wesentlich. Im Ergebnis dessen konnten bereits in den sechziger Jahren verschiedene Rechner in die Serienproduktion überführt werden, z. B. die Rechner „Kiew", „Promin", „Mir 1", „Kiew 67", „Mir 2", „Dnepr", „Dnepr 2", „Iskra", „Ros'", „Kiew 70", „Mir 3" u. a. Inzwischen existieren noch ein „Spezielles Konstruktions- und Technologiebüro für Software" und ein Versuchsbetrieb zur Produktion mikroelektronischer Bauelemente.

Ein weiteres Grundprinzip für die Arbeit des Instituts ist die organische Einheit von Fern- und Nahzielen. Darunter ist das Bestreben, auf der Grundlage langfristiger Zielstellungen Unterziele zu bestimmen, die in absteckbaren Zeiträumen erreichbar sind und eigenständige theoretische und praktische Bedeutung haben, zu verstehen. Dementsprechend wurden von Anfang an einige langfristige Prognosen zur Entwicklung der Rechentechnik und Kybernetik mit praktischen Problemen ihrer Anwendung in der Volkswirtschaft verknüpft. Als Beispiel sei das Programm zur Entwicklung neuer EDV-Anlagen erwähnt, das eng mit einer Reihe von Forschungsprogrammen zur Entwicklung der Theorie der elektronischen Rechenanlagen, z. B. der Computeralgebra, der Automatentheorie, der Rechnerarchitektur, der Theorie der Programmierung und der Organisation der Berechnungen, verbunden war. Die Entwicklung künstlicher Intelligenz wurde eng mit den Problemen der Automatisierung der Steuerung in verschiedenen Gebieten der menschlichen Tätigkeit verbunden.

In 5 Sektionen mit insgesamt 45 Abteilungen und 19 Laboratorien arbeiten gegenwärtig über 2000 Mitarbeiter, darunter etwa 800 Wissenschaftler. Solche bekannten Wissenschaftler, wie *V. S. Michalevič*, *N. M. Amosov*, *A. I. Kuchtenko*, *A. G. Ivachnenko*, *I. N. Kovalenko* *A. A. Bakaev*, *B. N. Malinovskij* oder *V. I. Skurichin*, alles Mitglieder oder korrespondierende Mitglieder der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, bestimmen entscheidend das Forschungsprofil dieses bedeutenden Institutes, das man in folgende Grundrichtungen einteilen könnte:

— *Theoretische und ökonomische Kybernetik*

  Beiträge zur Wissenschaftsentwicklung auf diesem Gebiet beruhen auf Arbeiten zur Theorie der digitalen Automaten und mathematischen Maschinen, zur Automatisierung der Projektierung von EDV-Anlagen und kybernetischen Maschinen, zur Theorie und zu Methoden der künstlichen Intelligenz, zur Theorie optimaler Entscheidungen, zur Systemmodellierung, zu mathematischen Methoden in der Leitung und Planung der Volkswirtschaft (darunter zur Transportoptimierung und Produktionsverteilung), zur makroökonomischen Modellierung und zur Automatisierung der Produktion. Ein großes Verdienst dieses Kollektivs ist auch die Anwendung mathematischer Methoden und technischer Mittel in Biologie und Medizin. Entwickelt wurden die Neuro- und Hydrobionik sowie medizinische Informations- und Expertensysteme.

— *Software und Systementwicklung, Rechenzentrum*

  Hierzu gehören Arbeiten zur Datenverarbeitung in verschiedensten Anwendungsgebieten, zur Softwareentwicklung für derartige Systeme und zur Entwicklung von Operationssystemen, Sprachen und Informationssystemen.

— *Automatisierte Systeme der Steuerung (ASU)*

  In dieser Sektion sind Forschungsarbeiten zur Automatisierung der Produktionssteuerung, zur Automatisierung der Steuerung der Volkswirtschaft und zur Entwicklung automatisierter Systeme für die Projektierung komplizierter Objekte und Produktionsmechanismen konzentriert. Entwickelt wurden Grundlagen zur Leitung der Wissenschaft, Methoden zur wissenschaftlich-technischen Prognose und die Methodologie der Zielprogrammsteuerung wissenschaftlicher Forschung. Auf den Erkenntnissen des Instituts be-

ruhen Ökonomie, Organisation und Planung wissenschaftlicher Forschungstätigkeiten, Projektierungs- und Konstruktionsarbeiten sowie die Schaffung von Informationssystemen für die Leitung der Wissenschaft.

Technische Kybernetik
Entwickelt wurden Theoriebeiträge zur automatischen Steuerung und Regelung sowie Systeme zur automatischen Steuerung komplizierter technologischer Prozesse in den verschiedensten Industriezweigen, wobei auch Arbeiten zur Gestaltung ergatischer Systeme zu erwähnen sind. Beiträge zur Signalerkennung einschließlich der Spracherkennung sowie zur automatischen Steuerung wissenschaftlicher Experimente haben große Bedeutung gefunden. Internationale Anerkennung fanden auch die Arbeiten zur Selbstorganisation mathematischer Modelle auf EDV-Anlagen.

– *Rechentechnik und Mikroelektronik*
Hierunter können Beiträge und Forschungen zusammengefaßt werden, die die Entwicklung neuer Generationen von EDV-Anlagen, von Mini- und Mikrorechnern u. a. betreffen, aber auch die Entwicklung der physikalisch-technologischen Grundlagen der kybernetischen Technik, die Entwicklung der rechentechnischen Hilfsmittel für die Systemtechnik zur Steuerung technologischer, meßtechnischer Prozesse in Industrie und wissenschaftlicher Forschung.

Besonders erwähnenswert ist auch die Entwicklung eines Fonds für Algorithmen und Programme in der Ukrainischen Sowjetrepublik, der 1966 am Institut für Kybernetik gegründet wurde. Hier werden Software für EDV-Anlagen, in der Praxis bewährte Algorithmen, Programme, Anwenderpakete zur Lösung verschiedener wissenschaftlicher, ingenieurtechnischer und ökonomischer Aufgaben, aber auch Software für konkrete Rechner, methodologische und instruktive Materialien zur Programmierung, zu algorithmischen Sprachen u. a. gesammelt. Gleichzeitig wird periodisch entsprechendes Informationsmaterial herausgegeben und der Informationsaustausch organisiert.

Große Aufmerksamkeit widmet das Institutskollektiv der Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses. Das beweist der hohe Anteil an Wissenschaftlern mit akademischen Graden. Darüber hinaus war und ist für das Institut die Lehrtätigkeit ein wichtiger Schwerpunkt. Bereits 1957 wurde ein erstes Lehrprogramm für Lehrveranstaltungen auf dem Gebiet der Kybernetik verabschiedet und an der Kiewer Universität realisiert. Wenige Jahre später entstand, ausgehend von diesen Erfahrungen, die erste Fakultät für Kybernetik an der Kiewer Universität. Außerdem bildete sich 1967 ein Lehrstuhl für „Theoretische Kybernetik und Systemanalyse“ des Moskauer Physikalisch-Technischen Instituts am Kiewer Institut für Kybernetik heraus. Hier vollenden Studenten des Moskauer Physikalisch-Technischen Instituts nach dem 4. Studienjahr ihr Studium, indem sie an Vorlesungen führender Wissenschaftler des Instituts für Kybernetik teilnehmen und direkt in deren Forschungsschwerpunkte im Rahmen ihrer Diplomarbeit einbezogen werden. Auf diese Weise wird schon seit über 20 Jahren die Verbindung zwischen grundlagenwissenschaftlicher Ausbildung in Mathematik, Physik, Technik einerseits und der Vermittlung neuester wichtiger Probleme aus Wissenschaft und Technik in der praktischen Forschungstätigkeit hergestellt. Unabhängig davon sind führende Wissenschaftler des Instituts an vielen Lehrveranstaltungen und Kursen in fast allen Hochschuleinrichtungen der UdSSR sowie im postgradualen Studium beteiligt. Sie sind Autoren oder Mitautoren einer großen Anzahl von Lehrbüchern und Lehrmaterialien. Gegenwärtig kann man mit Recht von einer ukrainischen Kybernetikschule sprechen, die weit über die Grenzen der UdSSR hinaus bekannt ist. Neben vielen wissenschaftlichen Monographien im Eigenverlag des Instituts oder im Kiewer Akademieverlag „Naukova dumka“ erscheinen unter Verantwortung des Instituts für Kybernetik solche Zeitschriften wie „avtomatika“, „kibernetika“ und „upravljajuščie sistemy i mašiny“, die zum ständigen Literaturangebot auch für die DDR-Leser gehören.

Natürlich ordnet sich das Institut für Kybernetik in die nationale und internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kybernetik in mannigfaltiger Weise ein. Insbesondere ist das Institut für folgende Forschungsthemen Basisorganisation:

– Automatisierung der Projektierung von Rechenanlagen
– systemtheoretische Probleme und Software für das staatliche Netz der Rechenzentren
– Automatisierung der Projektierung integrierter Schaltkreise
– Theoretische Kybernetik, Systemtechnik, Entwicklung und Einführung technischer Mittel und Software für automatisierte Steuerungssysteme (ASU)
– Ökonomische Kybernetik, Entwicklung automatisierter Systeme der Sammlung und Verarbeitung von Informationen für Abrechnung, Planung und Leitung in der Volkswirtschaft
– Automatisierung der wissenschaftlichen Forschung
– Methodische Grundlagen der wissenschaftlich-technischen Prognose
– Datenbanken
– Expertensysteme
– Rechnergestützte Projektierung.

Die internationalen Beziehungen des Instituts wachsen von Jahr zu Jahr. Hauptformen sind dabei gemeinsame Forschungsprojekte, die Teilnahme in internationalen Organisationen und Gremien sowie die Durchführung von bzw. Beteiligung an Symposien und Konferenzen.

Weiterführende Informationen zum Institut für Kybernetik findet man in [1].

Literatur

[1] Institut für Kybernetik. Kiew: Naukova dumka 1976.

msr 8711 *J.-A. Müller*

Analoge Schaltungen. Von *M. Seifart.* Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 579 Seiten, 432 Bilder, 62 Tafeln, 42,— M.
Bestell-Nr. 5536220

Der Autor ist durch seine Lehrbücher über analoge und digitale Schaltungen bekannt. Um in diese die neuen Entwicklungen der Schaltungstechnik einzubeziehen, sind bei Neuauflagen in kürzeren Zeiträumen eine Überarbeitung und Neuordnung des Stoffes erforderlich. So ist das Buch eine Überarbeitung und Ergänzung des bisher in zwei Auflagen erschienenen Lehrbuchs „Analoge Schaltungen und Schaltkreise". Trotz des sinnvollerweise kürzeren Titels erfaßt es einen größeren Problemkreis. Es wurden u. a. die zur Analogtechnik gehörenden Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler (Wirkprinzipien, Kopplung mit Mikroprozessoren, Beschreibung industrieller Umsetzer) neu aufgenommen, und die Abschnitte über geregelte und netztransformatorlose Stromversorgungseinheiten (Schaltnetzteile) wurden stark erweitert.
Das Buch gibt eine ausführliche Darstellung des elektronischen Verhaltens aktiver Halbleiterbauelemente und deren Grundschaltungen sowie Dimensionierungshinweise und Einsatzmöglichkeiten analoger Schaltungen in diskreter und vor allem integrierter Form. Entsprechend seiner besonderen Bedeutung wird der Operationsverstärker ausführlich beschrieben. Dessen vielseitiger Einsatz unter Verwendung verschiedener Gegenkopplungsschaltungen (Verstärker, Rechen- und Regelschaltungen, Gleichrichter, Abtastschaltungen, Funktionsgeneratoren, Komparatoren u. a.) wird in mehreren Abschnitten behandelt. Relativ breiten Raum nehmen die Leistungsverstärker (stetige Verstärkerstufen, Schaltverstärker) und die Analyse gegengekoppelter Verstärker (Verzerrungen, Stabilität, Frequenzgangkompensation u. a.) ein. Wesentlich erweitert wurden die Abschnitte über Filter: zu den aktiven Filtern mit Widerstand, Kondensator und Operationsverstärker wurden mechanische Filter und die in den letzten Jahren in den Vordergrund des Interesses gerückten monolithischen Filter (analoge Abtastfilter und Digitalfilter) mit in die Betrachtung einbezogen. Als Beispiel wird der frei programmierbare Signalprozessor 2920 beschrieben.
Die Bewältigung eines so umfangreichen Stoffgebiets im Rahmen eines Buches von knapp 600 Seiten ist nur mit Forderung bestimmter Vorkenntnisse und mit einer übersichtlichen Gliederung und guten Systematik der Darstellung möglich. So werden die Kenntnisse der Wirkprinzipien und Parameterdarstellung der Bauelemente und der Methoden der Netzwerkberechnung (komplexe Rechnung, Laplace-Transformation, Vierpoltheorie) vorausgesetzt, wobei jedoch in pädagogisch sehr geschickter Art bestimmte Verfahren (Knotenspannungsanalyse, Netzwerkumwandlungen u. a.) in Form von prägnanten Berechnungsprogrammen angegeben werden. Die Stoffvermittlung erfolgt vorzugsweise durch verbale Beschreibung der funktionellen Wirkungsweise und mit einem durchsichtigen, meist selbst ableitbaren Formelapparat, der zur Diskussion des elektronischen Verhaltens oder zur Dimensionierung benötigt wird. Betrachtungen zum rechnergestützten Schaltungsentwurf sind nicht enthalten.
Das Buch ist für das Studium gut geeignet, zumal zur Veranschaulichung der allgemeinen Betrachtungen viele konkrete technische Schaltungsprobleme ausführlich diskutiert werden. Die Berücksichtigung auch der modernen Entwicklungen, die kritische Wertung verschiedener Varianten und die mehr als 220 Literaturstellen empfehlen das Buch auch als Nachschlagwerk für Ingenieure der Praxis.

B 2276 *K. Lunze*

Netzwerkanalyse, Netzwerksynthese und Leitungstheorie. Von *G. Ulbricht.* Stuttgart: B. G. Teubner 1986. 175 Seiten, 109 Bilder, 10 Tafeln.

Die Theorie linearer Zweipole, Vierpole und Leitungen stellt auch heute noch ein wesentliches Ausbildungsfach an Hochschulen bei der Ausbildung von Ingenieuren der Elektrotechnik/Elektronik dar. Neben solchen interessanten Anwendungen wie Filterschaltungen können damit wesentliche Grundprinzipien der Analyse und Synthese elektrischer Netzwerke mit konzentrierten und verteilten Parametern studiert werden. Diese Grundprinzipien sind auch im Zeitalter des Computer Aided Design (CAD) elektrischer Netzwerke von grundlegender Bedeutung, auch wenn hier oft andere Algorithmen zur Anwendung kommen und Nichtlinearitäten nicht um jeden Preis vernachlässigt werden.
Dieses Büchlein stellt in knapper und übersichtlicher Form alle wesentlichen Zusammenhänge und praktisch nützlichen Informationen zur klassischen Theorie linearer Netzwerke mit konzentrierten und verteilten Parametern zusammen. Besonders begrüßenswert ist, daß dies in einem Umfang gelungen ist, der der heutigen Bedeutung dieses Fachgebietes entspricht. Dies wurde durch Komprimierung möglich, ohne praktisch bedeutsame Aussagen auszulassen. Ganz elementar ist dieser Kursus jedoch nicht. Es werden neben Grundkenntnissen der Elektrotechnik vor allem Kenntnisse der komplexen Rechnung, der Funktionaltransformationen und der Differentialgleichungen vorausgesetzt.
Das Buch ist in 4 Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt über Zweipole behandelt solche Probleme wie allgemeine Eigenschaften von Zweipolen (Pol-/Nullstellendarstellung), Partial- und Kettenbruchschaltungen. Der 2. Abschnitt ist allgemeinen Eigenschaften von Vierpolen (Zweitoren) gewidmet. Alle wesentlichen Beziehungen für Vierpolparameter für verschiedene Zusammenschaltungen und zur Umrechnung ineinander werden zusammengestellt. Dazu gehören auch Betriebs- und Streuparameter. Einige Matrizen wichtiger Vierpole sind ebenfalls angegeben.
Der 3. Abschnitt, der sich der Filteranalyse und -synthese widmet, enthält neben den allgemeingültigen Prinzipien Informationen über praktisch wichtige Filterklassen.
Der Abschnitt 4 enthält die Theorie der Leitungen.
Abschließend sei noch einmal hervorgehoben, daß dieses Buch nicht nur als sehr gutes Studienmaterial zum Selbststudium empfohlen werden kann, sondern auch eine gute Anleitung zur effektiven Gestaltung dieses Lehrgebietes ist.

B 2179 *A. Möschwitzer*

Grundlagen elektrischer Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen. Von *H. Koettnitz, G. Winkler* und *K.-D. Weßnigk.* Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986. 388 Seiten, 340 Bilder, 58 Tafeln, 50,— M.

Für die Beurteilung des Betriebes von Elektroenergiesystemen werden häufig die ausgeglichenen stationären Leistungsflüsse bei höchsten oder niedrigsten Verbraucherleistungen sowie das Verhalten bei quasistationär angenommenen Kurzschlußzuständen zugrunde gelegt. Dabei müssen jedoch die während des Betriebes auftretenden plötzlichen Zustandsänderungen der Netztopologie oder der elektrischen Größen Berücksichtigung finden, die mit abnormalen Spannungs- und Strombeanspruchungen einhergehen. Desgleichen sind die im normalen ungestörten Zustand durch Energieverbraucher hervorgerufenen Oberschwingungen, Unsymmetrien und stochastischen Abweichungen von den stationären elektrischen Größen von Bedeutung. Diese Faktoren bewirken in ihrer Gesamtheit in den Elektroenergiesystemen örtlich und zeitlich mehr oder minder begrenzte besondere Beanspruchungen und Beeinflussungen, die die Bemessung der Elektroenergienetze einschließlich ihrer elektrotechnischen Betriebsmittel und Anlagen wesentlich mitbestimmen.
Die Autoren behandeln in diesem Buch die in der Praxis als Netzbetriebsvorgänge bezeichneten Zusammenhänge. Der Stoff wird in fünf große Abschnitte gegliedert. Ausgehend von einer ein-

gehenden Begriffsdefinition der Betriebszustände und Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen werden die physikalischen Grundlagen wesentlicher elektrischer Betriebsvorgänge, wie Unsymmetrie, Oberschwingungen, Mehrbelastungs- und Überströme sowie Leistungsschwingungen, dargelegt, ihre charakteristischen elektrischen Größen und Gesetzmäßigkeiten, auch des stochastischen Verhaltens, ingenieurtechnisch mathematisch beschrieben und die wichtigsten Einflußparameter gedeutet.
Die Autoren haben darauf verzichtet, organisatorische Betriebsvorgänge oder Betriebsvorschriften zu behandeln sowie auch technische Ausführungen oder Angaben technischer Daten von Betriebsmitteln oder Anlagen darzustellen. Der Stoff wird sehr anschaulich dargeboten und ist systematisch gegliedert. Die klare und sachliche Sprache und reiche Bebilderung tragen wesentlich zum guten Verständnis und Erfassen der Zusammenhänge bei. Es ist zu spüren, daß die Autoren langjährige Erfahrungen im Umgang mit Studenten haben.
Das Buch ist sehr gut als Lehrbuch für Studenten der Fachrichtung Elektroenergietechnik an Hoch- und Fachschulen geeignet. Es kann aber auch den in der Praxis tätigen Ingenieuren eine Unterstützung bei ihrer Arbeit im Betrieb oder in der Projektierung von Elektroenergiesystemen sein.

B 2251 *W. Teichmann*

Non-Adaptiv and Adaptiv-Control of Manipulation Robots. Von *M. Vukobratović, D. Stokič* und *N. Kirčanski.* Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1985. 383 Seiten, 111 Bilder.

Die jugoslawischen Autoren beschreiben im Band 5 der Reihe „Wissenschaftliche Grundlagen von Robotern" die Steuerung von Robotern. Ausgehend von dynamischen Modellen wird das Steuerungsverhalten mathematisch beschrieben. Diese Monographie ist damit eine kontinuierliche und logische Fortsetzung der Arbeiten der Autoren, die in den Bänden 2 und 3 dieser Reihe veröffentlicht wurden.
Gegenüber den vorangegangenen Arbeiten gibt es in dieser Monographie drei neue Aspekte, die auf neueren Arbeiten der Autoren beruhen. Das sind nichtadaptive Regelungen von Robotern unter dem Aspekt der partiellen Stabilität des Gesamtsystems, effiziente adaptive Regelungen, die auf dezentralisierten Steuerungsstrukturen basieren und letztlich die Synthese und Verifikation von Steuerungsstrategien für Roboter mit 6 Freiheitsgraden. Die drei neuen Forschungsaspekte sind in den 5 Kapiteln dieses Werkes beschrieben.
Die Darstellung des Modells der Roboterdynamik in analytischer Form wird im Kapitel 1 behandelt.
Das Kapitel 2 beinhaltet Ergebnisse nichtadaptiver Steuerungen mit variablen Parametern. Dabei werden die optimale, dezentrale Regelung der Achsen, das optimale Servosystem und die Stabilitätsanalyse des Robotersystems behandelt. In zwei Anhängen zum Kapitel 2 werden die Analyse des Einflusses des Greifermodells auf die Komplexität der Robotersteuerung und die praktische Stabilität der Handhabung der Roboter behandelt.
Das Kapitel 3 untersucht adaptive Steuerungsalgorithmen für Roboter, z. B. die Self-tuning-Strategie, Folgeregelung mit Referenzmodell, indirekt zentralisierte adaptive Regelung und dezentrale adaptive Strategien.
Das Kapitel 4 behandelt die rechnergestützte Synthese der Steuerungssysteme (einschließlich erprobter Softwarepakete), die an einem Beispiel verifiziert wird. Für die Synthese werden u. a. die Stabilitätsanalyse für dezentrale Steuerungen, zeitdiskrete und adaptive Steuerungen betrachtet. Ein Beispiel beschließt dieses Kapitel.
Die Implementation der Steuerungsalgorithmen, sowohl der nichtadaptiven als auch der adaptiven, wird im Kapitel 5 abgehandelt.
Aus zweckdienlichen Gründen haben die Autoren die Literatur nach jedem Kapitel angegeben. Eine Zusammenfassung nach jedem Kapitel erleichtert ein abschnittsweises Studium. Insgesamt eine anspruchsvolle Monographie für Spezialisten der Robotersteuerung.

B 2152 *H. Fuchs*

Wie funktionieren Roboter. Von *W. Lorbeer* und *D. Werner.* Stuttgart: B. G. Teubner 1986. 144 Seiten, 63 Bilder.

Den msr-Lesern braucht die Bedeutung moderner Industrieroboter für die Automatisierung, Rationalisierung und Humanisierung der Arbeitswelt nicht erklärt zu werden. Doch allen, die sich auch mit den technischen Details, mit der Mathematik, Physik, Mechanik, Steuerung und Informatik von Industrierobotern einführend und doch recht gründlich vertraut machen wollen, steht mit diesem Büchlein eine vorzügliche Übersicht bereit.
Nach einem einleitenden Kapitel, das den Industrieroboter einordnet und grundlegende Begriffe klärt, folgen die Grundprinzipien der Robotersteuerung. Ausgangspunkt sind die Robotergrundbestandteile Steuerung, Leistungselektronik und Manipulator. Daraus leiten sich die wichtigen Betrachtungsgegenstände Mechanik (Kinematik, Statik, Dynamik, Sensorik), Koordinatensysteme und Transformationen (also die Robotermathematik), Roboterbewegung und Steuerungsarten (Punktsteuerung, Bahnsteuerung), Programmierung (Wahl eines geeigneten Koordinatensystems, Gewinnung von Soll- und Istwerten mit Meßwertgebern, Programmierverfahren, Lernverfahren, Off-line-Programmierung), Zusammenhang zwischen Modell und Realität (Automatenzustände, Ereignisse, Realität, Modell, Einmessen eines Roboters, Einsatz von Sensoren) ab. Ein spezielles Kapitel ist der Roboterprogrammierung und den entsprechenden Programmiersprachen gewidmet (Teach-in-Programmierung, Off-line-Programmierung, gemischte Online-off-line-Programmierung, robotertypische Datenstrukturen und Anweisungen sowie Sprachstrukturen, Apple-BASIC für Roboter). Am Beispiel firmenbezogener Industrieroboter werden in den abschließenden Kapiteln die Arbeitsweisen des Roboters, der Steuerung, des Monitors, des Kommunikationsmoduls, des Robotercontrollers und des Positioniermoduls sowie die Realisierung von Betriebszuständen dargestellt, Programmierprojekte für Roboter erläutert und detailliertere Aussagen zum Leistungsteil und zur Steuerelektronik gemacht.
Der Inhalt des Buches wird durch aussagefähiges Bildmaterial gut unterstützt (obwohl die z. T. recht dilettantischen Handzeichnungen mit einer Schrift, die von Normschrift weit entfernt ist, optisch ein wenig störend wirken). Ein Literaturverzeichnis (hier fehlen sicher einige grundlegende Werke vor allem auch des deutschsprachigen Raums zur weiteren Vertiefung) und ein gut zusammengestelltes Sachwortverzeichnis runden dieses empfehlenswerte Büchlein ab. Abschließend sei angefügt, daß die vollständige Namensgleichheit eines der beiden Autoren und des Rezensenten absolut zufällig ist.

B 2230 *D. Werner*

Versuchsplanung bei der Untersuchung stochastischer Felder und Prozesse. Von *U. I. Brimkulov, G. K. Krug* und *V. L. Savanov.* Moskau: Nauka 1986. 153 Seiten, 25 Bilder, 1 Tafel.

Die Hauptaufgabe der Versuchsplanung besteht in der Erhöhung der Effektivität experimenteller Untersuchungen durch Reduzierung des Aufwandes bzw. Erhöhung der statistischen Genauigkeit und Zuverlässigkeit der erhaltenen Ergebnisse. Dabei liefert die Versuchsplanung eine solche Punktmenge im zulässigen Faktorraum, für die sich die beste Genauigkeit der Parameterschätzung bei gegebenem bzw. minimalem Versuchsaufwand ergibt. In der Vergangenheit wurden vor allem Methoden entwickelt, die für nicht korrelierte Ausgangsgrößen des Untersuchungsobjektes anwendbar sind.
Sind die Ausgangsgrößen jedoch korreliert, werden sie sinnvollerweise als Messungen eines stochastischen Feldes oder stochastischer Prozesse interpretiert. Die vorliegende Publikation ist der Analyse und Planung der Experimente bei der Untersuchung räumlich-zeitlicher stochastischer Felder und Prozesse, wie sie z. B. in der Ozeanologie, Meteorologie, Ökologie u. a. aber auch in der Technik zu untersuchen sind, gewidmet. Behandelt werden nach der Analyse stochastischer Felder und Prozesse sowie entsprechender Schätzmethoden (Kapitel 1) die Planung von Regressionsexperimenten in stochastischen Feldern einschließlich der sich dabei ergebenden Besonderheiten (Kapitel 2) und Bedingungen für die Äqui-

valenz der diskreten und stetigen Versuchsplanung (Kapitel 3). Theoreme, die zu numerischen Methoden der Synthese optimaler Pläne führen, werden angegeben (Kapitel 4). Abschließend behandeln die Autoren die numerische Entwicklung sequentieller Versuchspläne, die numerische Konstruktion genauer Versuchspläne und die Optimierung räumlich-zeitlicher Messungen. Auf die dabei entwickelten Rechenprogramme wird lediglich verwiesen, sie sind jedoch Bestandteil des staatlichen Algorithmen- und Programmfonds der UdSSR. B 2258 *J.-A. Müller*

Mathematische Verfahren der Regelungstechnik. Numerische Verfahren gezeigt mit dem HP 41. Von *P. Martin.* München/Wien: R. Oldenbourg Verlag. 301 Seiten, zahlreiche Bilder.

Rechentechnische Hilfsmittel stellen in der regelungstechnischen Ausbildung ein geeignetes Werkzeug dar, um erworbene Kenntnisse zu untermauern. Eigenes Programmieren, Beobachten der Rechenvorgänge, der Zwischen- und Endergebnisse geben eine gewisse Sicherheit beim Umgang mit Verfahren, die oft nur Näherungsverfahren sind. Diese Sicherheit ist die Voraussetzung dafür, daß umfangreichere Programmpakete zum Entwurf nicht nur formal angewendet werden. Zu diesem Zweck werden vom Autor einige mathematische Hilfsmittel für die Regelungstechnik aufbereitet, wobei der Aufbau: theoretische Grundlagen, Programmbeschreibung, Gebrauchsanweisung, Programmablaufplan, verwendete Unterprogramme und berechnete Beispiele, konsequent durchgehalten wird.
Nach einleitenden Bemerkungen zum allgemeinen Programmaufbau wird im 2. Kapitel ein Programm zur Berechnung der Systemantwort mit der Laplace-Transformation (analytische Lösung mit Residuensatz) entwickelt. Leider findet sich auch hier die unnötige Voraussetzung verschwindender Anfangswerte bei der Aufstellung der Übertragungsfunktion, die von einigen der berechneten Beispielen widerlegt wird. Die Anwendung des Programmes erfordert die Kenntnis der Pole bzw. der Nullstellen der Bildfunktion. Ein Programm zu deren Bestimmung (Bairstow-Verfahren) wird im Kapitel 4 vorgestellt.
Verfahren der numerischen Integration, die auf einfachere Programme führen und eine digitale Simulation unter Einbeziehung von Nichtlinearitäten ermöglichen, werden nicht betrachtet. Im Kapitel 3 wird das Bode-Diagramm eines linearen Systems ohne Totzeit einschließlich der Entwurfskenngrößen Durchtrittsfrequenz und Phasenrand berechnet.
Ein weiteres Hilfsmittel zum Regelkreisentwurf, die Wurzelortskurve, für deren rationellen Einsatz eine Rechnerunterstützung zweckmäßig ist, wird im Kapitel 5 programmtechnisch aufbereitet. Die Führungsantwort des entworfenen Regelkreises kann unter Zusatz weiterer Linearfaktoren (Eingangsgröße) mit dem Programm nach Kapitel 1 überprüft werden.
Die Optimierung linearer Mehrgrößenregelsysteme bezüglich eines quadratischen Kriteriums erfordert die Lösung der Matrix-Riccati-Gleichung. Die Lösung erfolgt mit 3 Programmen, die aufgrund begrenzter Speicherkapazität des Rechners einzeln zu laden sind. Mit weiterführenden Rechnungen wäre der verwendete Taschenrechner vermutlich überfordert. Die Darstellung schließt mit allgemeinen mathematischen Unterprogrammen und Dienstprogrammen.
Die Programme sind für den Taschenrechner HP 41 mit seiner assemblerähnlichen Programmierung geschrieben worden. Für die Rechnungen sind damit ein teilweise relativ hoher Zeitaufwand und eine Beschränkung der Systemordnung verbunden. Die Programmierung erfolgte weitgehend strukturiert, auch wenn damit knapper Speicherplatz verschenkt wurde. Im Rahmen der sparsamen Möglichkeiten ist der Programmablauf bedienergeführt.
Zwar wäre für Ausbildungsaufgaben die Programmierung in BASIC wegen der Verbreitung angebrachter, jedoch ermöglichen die ausführlichen Programmablaufpläne die Umsetzung.
Das Buch gibt dem Nutzer Hilfsmittel in die Hand, die einen guten Einblick in einige regelungstechnische Probleme ermöglichen. B 2205 *J. Wede*

Stochastic Programming. Herausgeber: *F. Archetti, G. Di Pillo* und *M. Lucertini.* Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol. 76. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1986. 285 Seiten.

Der Band enthält Beiträge der Konferenz „Stochastic Programming", die in Gargnano/Italien vom 15. bis 21. September 1983 stattfand. Die Beiträge konzentrieren sich auf die beiden Hauptrichtungen: Stochastische Modellierung und Simulation sowie stochastische Optimierung. Die Beiträge sind mathematisch anspruchsvoll. Auf einige ingenieurtechnisch interessante inhaltliche Aspekte des Buches soll aufmerksam gemacht werden. Anhand eines M/G/1-Bedienungssystems wird das Problem der Erkennung eines Intensitätswechsels des Forderungenstromes behandelt. Verallgemeinerbar ist die angegebene geschlossene Lösung zur Bestimmung der minimalen Erkennungszeit von stochastischen Zustandsänderungen auf alle Überwachungsprozesse, bei denen der Zustandsraum abzählbar und wofür ein Risiko für Falschentscheidungen gegeben ist. Es wird nachgewiesen, daß mit einem stochastischem Ansatz die Erkennungszeit im Mittel weit unter derjenigen eines „worst-case"-Ansatzes bleibt. Interessante Ergebnisse zur Bestimmung von Charakteristika in Bedienungsnetzwerken werden durch die Anwendung von Methoden der Mittelwertanalyse und der Dekomposition erreicht. Die Dekompositionsmethoden sind auch zur Simulation großer Systeme notwendig und sinnvoll. Zur Simulation werden häufig normalverteilte Pseudozufallszahlen benötigt. Ein sehr einfacher Algorithmus zur Erzeugung von exponential- und normalverteilten Zufallszahlen wird angegeben, der schneller und genauer als bisher bekannte arbeitet. Einen wesentlichen Umfang nehmen Entscheidungs- und Optimierungsaufgaben ein, die aufgrund begrenzter bzw. unsicherer Informationen gelöst werden müssen, wie es gewöhnlich der Fall bei großen Systemen ist, die vorrangig in der Energie- oder Wasserversorgung, bei Kommunikationsnetzen, großen Produktions- oder Dienstleistungssystemen anzutreffen sind. Ein wesentlicher Optimierungsaspekt wird darin gesehen, daß eine dezentrale Datenverarbeitung mit einer möglichst geringen Inanspruchnahme von Übertragungswegen immer ökonomischer wird im Vergleich zu einer stark zentralisierten Datenverarbeitung und dem damit zwangsläufig verbundenen hohen Aufwand für die Übertragung der notwendigen Daten im Rechnernetz. Ansätze für eine dezentralisierte dynamische Steuerung in paketvermittelten Rechnernetzen, für eine lineare Optimierung mit integrierten Zufallsbedingungen und für unterschiedliche stochastische Optimierungsverfahren werden vorgestellt, gelöst und diskutiert. B 2165 *K. Fischer*

Modellierung komplizierter Systeme auf der Grundlage von experimentellen Beobachtungen. Von *A. G. Ivachnenko* und *Ju. P. Juračkovskij.* Moskau: Radio i svjaz' 1987. 120 Seiten, 17 Bilder.

Die Lösung einer Vielzahl technischer, ökonomischer, ökologischer u. a. Aufgaben setzt mathematische Modelle voraus. Die verschiedenen zu einem mathematischen Modell führenden Wege unterscheiden sich insbesondere durch die vorausgesetzte A-priori-Information über das zu modellierende System. Für viele praktische Aufgabenstellungen reicht die vorhandene A-priori-Information nicht aus, um mit ihrer Hilfe die Aufgabe der experimentellen Systemanalyse eindeutig zu lösen. Eine Möglichkeit ist in diesem Fall die rechnergestützte Auswahl von Modellen optimaler Kompliziertheit. Das Buch ist ein Beitrag zur wissenschaftlichen Begründung dieser Herangehensweise. Sie setzt die Folge von Publikationen einer Herangehensweise fort, die als „Selbstorganisation mathematischer Modelle auf EDV-Anlagen" bezeichnet wurde und zunehmende internationale Anerkennung und erfolgreiche Anwendung findet. Sie unterscheidet sich von vorhergehenden Publikationen durch den Versuch einer Verallgemeinerung und insbesondere durch die wesentlich stärkere mathematische Begründung einer Richtung, die ursprünglich einmal als heuristische Selbstorganisation bezeichnet wurde.

Nach der zusammenfassenden Darstellung der Methoden der Selbstorganisation von Vorhersagemodellen für komplizierte Systeme (Kapitel 1), der objektiven Systemanalyse sowie der langfristigen Vorhersage (Kapitel 2) beinhalten die Kapitel 3 und 4 stärker mathematische Grundlagen der strukturellen Modellierung mit Hilfe experimenteller Beobachtungen sowie Algorithmen zur strukturellen Modellierung. Insbesondere die kanonische Darstellung der Auswahlkriterien, die mathematische Begründung der Vorschriften zur Aufteilung der Beobachtung in Lern- und Prüffolge sowie die Untersuchung der Konvergenzgeschwindigkeit von Algorithmen der gruppenweisen Berücksichtigung der Argumente sind Beiträge zur weiteren wissenschaftlichen Fundierung.
Für den ersten Kontakt mit diesen Methoden sollten jedoch ausführlichere Publikationen genutzt werden.

B 2257 *J. Peters*

Mathematische Modellierung großer Systeme. Von *I. V. Maksimej.* Minsk: Vyšejšaja škola 1985. 119 Seiten, 25 Bilder, 3 Tafeln.

Das vom sowjetischen Hochschulministerium als Lehrmaterial zugelassene Buch beschränkt die Modellierung großer Systeme auf die stochastische diskrete Simulation. Hauptanliegen ist dabei die Vermittlung methodologischer Erfahrungen und entsprechender Grundlagen bei der Planung, Organisation und Auswertung von Modellexperimenten, weniger die Methodologie der Modellerstellung. Vorausgesetzt werden beim Leser Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und der mathematischen Statistik, aber auch der Programmierung.
Ausgehend von einem Überblick über die Möglichkeiten der mathematischen Modellierung großer Systeme werden im 2. Kapitel mathematische Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation einschließlich der Erzeugung und Transformation von Pseudozufallszahlen sowie mathematisch-statistische Verfahren zur Auswertung von Experimenten behandelt. Ausführlicher vermittelt der Autor methodologische Erfahrungen im Zusammenhang mit der Organisation der Modellexperimente. Hier sind die Etappen der Modellbildung, zugeschnitten auf die Erstellung algorithmischer Modelle, enthalten sowie ein kleiner Überblick über die gängigen Simulationssprachen und über Grundprobleme der Validierung.
Anwendung findet das dargelegte Material am Beispiel der Simulation von Mehrprozessorrechnersystemen.
Insgesamt gibt das Buch einen guten Überblick, insbesondere über die Probleme der Modellexperimente, ohne dem Leser das Studium der Grundlagenliteratur zur Simulation und schon gar nicht zur Modellierung großer Systeme im umfassenden Sinn zu ersparen.

B 2259 *K.-H. Winter*

KURZFASSUNGEN

Kriesel, W.; Richter, W.; Gibas, P.:

Feldbusnetze für Automatisierungssysteme mit intelligenten Funktionseinheiten

msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 486–489

Durch Informationsübertragung über bitserielle Feldbussysteme können intelligente Meß- und Stelleinrichtungen direkt digital miteinander sowie mit Leiteinrichtungen gekoppelt werden. Für die Spezifik der Automatisierungstechnik wird hierzu ein echtzeitfähiges, dezentral gesteuertes und fehlertolerantes Feldbussystem vorgeschlagen. Die speziell ausgelegten elementaren Ringsysteme sind vernetzungsfähig, so daß neben Weitbereichsnetzen (WAN) und lokalen Netzen (LAN) auch Feldbusnetze (FBN) als dritte Ebene möglich werden.

Fritzsch, W.:

Durchgängig automatisierte Systemlösungen für die technische Vorbereitung und Steuerung der Produktion — Stand und Perspektiven

msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 489–492

Im Beitrag werden Komponenten und Strukturen für die automatische Fertigung behandelt. Dabei werden Ansätze von CIM-Konzepten benutzt. Der gegenwärtige Stand und internationale Trends werden dargestellt.

Kościelny, J.:

Diagnostische Tests in Automatisierungsanlagen

msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 493–496

Es wird ein Verfahren zur Realisierung diagnostischer Tests in Automatisierungsanlagen mit dem Ziel der Erkennung von Fehlern und deren Lokalisierung beschrieben. Die verwendeten Tests werden charakterisiert, Anforderungen an eine Diagnosesoftware formuliert, Verfahren zur Realisierung der Tests in den einzelnen Diagnosephasen vorgestellt und anhand eines Beispiels erläutert.

Beichelt, F.; Sproß, L.:

Funktionelle Darstellung der zuverlässigkeitstheoretischen Struktur technischer Systeme durch Orthogonalformen ihrer Strukturfunktion

msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 496–499

Die zuverlässigkeitstheoretische Strukturfunktion eines technischen Systems ist in der disjunktiven Normalform gegeben, die auf den minimalen Pfadmengen beruht. Das behandelte Problem besteht darin, diese Darstellung der Strukturfunktion in eine logisch äquivalente disjunktive Normalform mit orthogonalen Summanden zu überführen. Ein rechentechnisch effektiver Algorithmus wird entwickelt, der auf die Ermittlung möglichst kurzer Orthogonalformen hinzielt.

Hoffmann, J.:

Meßeinrichtung zur Bestimmung von Parametern grobdisperser Stoffsysteme

msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 500–502

Es wird eine rechnergestützte Meßeinrichtung zur Bestimmung von Funktionen und Parametern grobdisperser Stoffsysteme, z. B. der Partikelgrößen- und Massenverteilung, vorgestellt. Das Meßverfahren, der Auswertealgorithmus sowie Meßergebnisse und Meßfehler werden erläutert. Wesentliche Vorteile sind kurze Meßzeit, einfache Probenvorbereitung und die Rechnerkopplung, die den Einsatz in Qualitätsüberwachungssystemen ermöglichen.

Weller, W.:

Lernfähige Automaten mit adaptiver Zufallssuche

msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 509–511

Lernfähige stochastische Automaten auf der Basis des Erfolgslernerns bieten ein alternatives Konzept zu Lernsystemen mit deterministischer Suche. Neben der allgemeinen Beschreibung werden im Beitrag Struktur und Wirkungsweise erläutert. Spezifizierte Adaptionsalgorithmen mit beispielhaft ausgewählten Verstellregeln werden als Grundlagen für weitergehende Untersuchungen und Nutzungen bereitgestellt.

РЕЗЮМЕ

Kriesel, W.; Richter, W.; Gibas, P.:

Сети полевых магистралей для систем автоматизации с интеллектуальными функциональными блоками

msr, Berlin 30, (1987) 11, стр. 486–489

Путем передачи информации через бит-последовательные системы полевых магистралей интеллектуальные измерительные устройства и исполнительные устройства могут быть непосредственно цифровым образом связаны друг с другом, а также с устройствами управления. Для специфики техники автоматизации для этой цели предложена способная для работы в реальном масштабе времени, децентрально управляемая система полевой магистрали с постепенным отказом. Специально рассчитанные элементарные кольцевые системы способны для работы с сетями так, что наряду с сетями дальных диапазонов и локальными сетями возможны также и сети полевых магистралей как третий уровень.

Fritzsch, W.:

Сквозные автоматизированные системные решения для технической подготовки и управления производством — состояние и перспективы

msr, Berlin 30 (1987) 11, стр. 489–492

В статье рассмотрены составляющие и структуры для автоматического изготовления. При этом использованы начала концептов CIM· Изображены настоящее состояние и международные направления.

Kościelny, J.:

Диагностические тесты в установках автоматизации

msr, Berlin 30 (1987) 11, стр. 493–496

Описан метод для реализации диагностических тестов в установках автоматизации с целью обнаружения ошибок и их локализации. Применяемые тесты характеризированы, сформулированы требования к матобеспечению диагноза, представлены методы для реализации тестов в отдельных фазах диагноза, которые пояснены на одном примере.

Beichelt, F.; Sproß, L.:

Функциональное изображение структуры теории надежности технических систем путем ортогональных форм их структурной функции

msr, Berlin 30 (1987) 11, стр. 496–499

Надежно-теоретическая структурная функция технической системы дана в дисъюнктивной нормальной форме, основанной на минимальных количествах маршрута. Рассматриваемая проблема состоит в том, перевести изображение структурной функции в логически эквивалентную дисъюнктивную нормальную форму с ортогональными слагаемыми. Разработан вычислительнотехнический эффективный алгоритм, который стремится к определению по возможности коротких ортогональных форм.

Hoffmann, J.:

Измерительное устройство для определения параметров крупнодисперсионных систем веществ

msr, Berlin 30 (1987) 11, стр. 500–502

Представлено измерительное устройство при применении вычислительной машины для определения функций и параметров крупнодисперсионных систем веществ, напр. распределения величины частиц и массы. Пояснены метод измерения, алгоритм оценки, а также результаты измерения и ошибки измерения. Существенными преимуществами являются короткое время измерения, простая подготовка проб и связь с вычислительной машиной, которые делают возможным применение в системах контроля качества.

Weller, W.:

Автоматы, способные к обучению, с адаптивным поиском вероятности

msr, Berlin 30 (1987) 11, стр. 509–511

Стохастические автоматы, способные к обучению, на основе успешного поиска дают альтернативный концепт по сравнению с системами обучения с детерминистическим поиском. Наряду с общим описанием в статье пояснены структура и принцип действия. Специфицированные алгоритмы адаптации с примерно выбранными правилами перестановки указаны как основы для дальнейших исследований и применения.

SUMMARIES

Kriesel, W.; Richter, W.; Gibas, P.:

Field Bus Networks for Automation Systems Containing Intelligent Functional Units

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 486–489

By use of information transfer via serial field bus systems, intelligent measurement and final control devices can directly be coupled digitally each other as well as with guiding devices. For the specific needs of automation engineering the authors propose a real-time field bus system decentrally controlled and error tolerating. The elementary ring systems specially designed can be interlaced, thus field bus networks as a third level besides wide area networks and local area networks becoming possible.

Fritzsch, W.:

Fully Automated System Solutions for the Technological Preparation and Control of the Production — State of the Art and Trends

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 489–492

The author deals with components and structures for automatic manufacturing, approaches of CIM conceptions being used. The state of the art and trends in this field are presented.

Kościelny, J.:

Diagnostic Tests in Automation Systems

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 493–496

The author describes a method for realizing diagnostic tests in automation systems in order to detect and localize errors. The tests used are characterized, requirements for a diagnosis software are formulated, methods for realizing the tests in the individual diagnosis phases are presented and explained by means of an example.

Beichelt, F.; Sproß, L.:

Functional Representation of the Reliability Structure of Technical Systems by Orthogonal Forms of their Structural Function

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 496–499

The reliability structure function of a technical system is given in the disjunctive normal form based on the minimal path set. The problem treated consists in transforming this representation of the structural function into a logically equivalent disjunctive normal form with orthogonal summands. An efficient numerical algorithm is developed whose aim is to determine orthogonal forms being as short as possible.

Hoffmann, J.:

Measuring Device for Determining the Parameters of Coarse-Disperse Substance Systems

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 500–502

The author presents a computer-supported measuring device for determining functions and parameters of coarse-disperse substance systems, such as particle size and mass distribution. The measuring method, evaluation algorithm as well as the measurement results and measurement errors are explained. Essential advantages are the short measuring time, simple sample preparation and the computer coupling allowing the application in quality supervising systems.

Weller, W.:

Learning Automata with Adaptive Random Search

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 509–511

Stochastic automata capable of learning based on success offer an alternative conception for learning systems using deterministic search. Besides a general description the author explains the structure and functioning. Special adaptation algorithms with properly selected adjusting rules are given as basis for further studies and applications.

RÉSUMÉS

Kriesel, W.; Richter, W.; Gibas, P.:

Des réseaux de bus de champ pour les systèmes d'automation à unités fonctionnelles intelligentes

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 486–489

La transmission des informations par systèmes de bus de champ permet de directement coupler numériquement les dispositifs de mesure et de manoeuvre les uns avec les autres ainsi qu'avec des dispositifs de contrôle. Pour les demandes spécifiques de l'automation, les auteurs proposent un système de bus de champ temps réel commandé décentralement et tolérant des erreurs. Les élémentaires systèmes annulaires spécialement dimensionnés peuvent être réticulés tellement que des réseaux de bus de champ comme troisième niveau deviennent aussi possible outre les réseaux de région étendue et les réseaux locaux.

Fritzsch, W.:

Des solutions systématiques automatisées complètement pour la préparation technique et la commande de la production — l'état présent et les tendances

msr, Berlin 30 (1897) 11, pp. 489–492

L'auteur s'occupe de composants et structures pour la fabrication automatique, des approches de conceptions CIM étant utilisées. L'état présent et les tendances dans ce domaine sont présentés.

Kościelny, J.:

Des tests diagnostiques dans les systèmes d'automation

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 493–496

L'auteur décrit une méthode permettant de réaliser des tests diagnostiques dans les systèmes d'automation pour détecter et localiser des erreurs. Les tests utilisés sont caractérisés, les exigences pour un logiciel de diagnose sont formulées, les méthodes pour réaliser les tests dans les individuelles phases de diagnose sont présentées et expliquées à l'aide d'un exemple.

Beichelt, F.; Sproß, L.:

La représentation fonctionnelle de la structure de fiabilité des systèmes techniques par formes orthogonales de leur fonction structurale

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 496–499

La fonction structurale de fiabilité d'un système technique est donnée en forme normale disjonctive basée sur les ensembles de chemin minimaux. Le problème traité consiste dans la transformation de cette représentation de la fonction structurale dans une forme normale disjonctive équivalente logiquement aux termes additionnels orthogonaux. Un algorithme numérique efficace est développé qui a pour but la détermination des formes orthogonales les plus courtes possible.

Hoffmann, J.:

Un dispositif de mesure pour la détermination des paramètres de systèmes de matière à dispersion grossière

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 500–502

L'auteur présente un dispositif de mesure assisté par ordinateur pour la détermination des fonctions et paramètres de systèmes de matière à dispersion grossière, par exemple la grandeur de particule et la distribution de masse. La méthode de mesure, l'algorithme d'évaluation ainsi que les résultats de mesure et les erreurs de mesure sont traités. Les avantages essentiels sont le court temps de mesure, la simple préparation d'échantillon et le couplage d'ordinateur permettant l'emploi dans le systèmes de supervision de qualité.

Weller, W.:

Les automates capables d'apprentissage à recherche aléatoire adaptive

msr, Berlin 30 (1987) 11, pp. 509–511

Les automates stochastiques capables d'apprentissage sur la base du succès offrent un concept alternatif pour les systèmes à apprentissage par recherche déterministe. Outre une description générale, l'auteur explique la structure et le fonctionnement. Des algorithmes adaptifs spéciaux aux règles d'ajustement bien choisies sont donnés comme fondements pour les études et applications ultérieures.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Blagodatskich, V.*: Vvedenie v optimal'noe upravlenie (Einführung in die optimale Steuerung). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (53).

[2] *Vlasov, V.; Korolev, L.; Sotnikov, L.*: Elementy informatiki (Elemente der Informatik). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (61).

[3] *Voinov, V.; Nikulin, M.*: Nesmeščennye ocenki i ich primenenija (Unverzerrte Schätzungen und ihre Anwendungen). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (62).

[4] *Golovkin, B.*: Parallel'nye i konvejernye vyčislitel'nye sistemy (Parallele und Fließband-Rechnersysteme). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (67).

[5] *Eremin, I.*: Protivorečivye modeli optimal'nogo planirovanija (Widersprüchliche Modelle der optimalen Planung). Nauka. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (71).

[6] Zadači po programmirovaniju (Aufgaben zur Programmierung). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (73).

[7] *Zajcev, S.*: Opisanie i realizacija protokolov setej EVM (Beschreibung und Realisierung von Protokollen von Rechnernetzen). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (74).

[8] *Zuev, S.*: Statističeskoe ocenivanie parametrov matematičeskich modelej zabolevanij (Statistische Parameterschätzung mathematischer Modelle von Erkrankungen). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (75).

[9] *Kalašnikov, V.; Račev, S.*: Matematičeskie metody postroenija modelej obsluživanija (Mathematische Methoden zur Entwicklung von Bedienungsmodellen). Nauka. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (78).

[10] *Kapitonova, Ju.; Letičevskij, A.*: Matematičeskaja teorija proektirovanija sistem preobrazovanija informacii (Mathematische Theorie der Projektierung von Systemen zur Informationstransformation). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (79).

[11] *Klark, F.*: Optimizacija i nevypuklyj analiz (Optimierung und nichtkonvexe Analyse). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (81).

[12] *Mirzoachmedov, F.; Michalevič, M.*: Vvedenie v prikladnoe stochastičeskoe programmirovanie (Einführung in die angewandte stochastische Optimierung). Nauka. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (89).

[13] *Nikolov, R.; Sendova, E.*: Načala informatiki (Anfänge der Informatik). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (92).

[14] *Pogrebinskij, S.; Strel'nikov, V.*: Proektirovanie i nadežnost' mnogoprocessornych EVM (Projektierung und Zuverlässigkeit von Mehrprozessor-EDV-Anlagen). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (282).

[15] *Vermišev, Ju.*: Osnovy avtomatizacii proektirovanija (Grundlagen der Automatisierung der Projektierung). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (292).

[16] *Krut'ko, P.; Maksimov, A.; Skvorcov, L.*: Algoritmy i programmy issledovanija i proektirovanija avtomatičeskich sistem (Algorithmen und Programme zur Untersuchung und Projektierung automatischer Systeme). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (293).

[17] *Bolski, M.*: Jazyk programmirovanija SI (Programmiersprache C). Radio i svjaz' 3. Quart. 1988. NK 87–13 (294).

[18] *Bredli, D.*: Programmirovanie na jazyke ASSEMBLERA dlja personal'nych EVM firmy IBM (Programmierung in ASSEMBLER für Personalcomputer von IBM). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (295).

[19] Vysokoskorostnye vyčislenija (Hochgeschwindigkeitsberechnungen). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (296).

[20] *Dzechani, N.*: Programmirovanie na jazyke SI (Programmierung in C). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (297).

[21] *Drakin, V.; Popov, E.; Preobraženskij, A.*: Obščenie konečnych pol'zovatelej s sistemami obrabotki dannych (Versorgung der Endnutzer mit Datenverarbeitungssystemen). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (298).

[22] Mikroprocessornye sredstva obrabotki i otobraženija informacii v sistemach upravlenija i svjaz' (Mikroprozessoren zur Verarbeitung und Abbildung von Informationen in Systemen der Steuerung und Kommunikation). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (299).

[23] *Nepomnjaščij, V.; Rjakin, O.*: Prikladnye metody verifikacii programm (Angewandte Methoden zur Programmverifikation). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (300).

[24] *Perminov, O.*: Programmirovanie na jazyke PASKAL' (Programmierung in PASCAL). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (302).

[25] *Rejord-Smit, V. Dž.*: Teorija formal'nych jazykov (Theorie formaler Sprachen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (303).

[26] *Seš, Dž.*: Operacionnaja sistema SR/M-86 (Operationssystem SR/M-86). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (304).

[27] *Fink, L.*: Papa, mama i mikrokal'kuljator (Papa, Mama und der Mikrorechner). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (305).

[28] *Chendriks, D.*: Kompilator jazyka SI dlja mikro EVM (Compiler für C für Mikrorechner). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1988. NK 87–13 (306).

[29] *Čeremnych, S.; Giglavyj, A.; Poljak, Ju.*: Ot mikroprocessora k personal'nym EVM (Vom Mikroprozessor zum Personalcomputer). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (307).

[30] Vyčislitel'nye processy i sistemy. Vyp. 6 (Rechenprozesse und -systeme. Ausg. 6). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (317).

[31] Kibernetika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 4 (Kybernetik und Rechentechnik. Ausg. 4). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (321).

[32] *Abramov, V.; Trifonov, N.; Trifonova, G.*: Vvedenie v jazyk PASKAL' (Einführung in PASCAL). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (450).

[33] *Zadkov, V.; Ponomarev, Ju.*: Kompjuter v laboratorii (Computer im Labor). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 87–13 (478).

[34] *Kalabekov, B.*: Mikroprocessory ich primenenie v sistemach peredači i obrabotki signalov (Mikroprozessoren und ihre Anwendung in Systemen zur Übertragung und Verarbeitung von Information). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (481).

[35] *Karančuk, V.; Svarovskij, I.; Suzdal'nickij, N.*: Osnovy primenenija EVM (Grundlagen der Anwendung von EDV-Anlagen). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (482).

[36] *Krasnosel'skij, N.; Voroncov, Ju.; Appak, M.*: Avtomatizirovannye sistemy upravlenija v svjazi (Automatisierte Systeme der Steuerung in der Nachrichtentechnik). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1988. NK 87–13 (486).

[37] *Popov, E.*: Teorija nelinejnych sistem avtomatičeskogo regulirovanija i upravlenija (Theorie nichtlinearer Regelungs- und Steuerungssysteme). Nauka. 2. Quart. 1988. NK 87–13 (505).

msr 8732

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*

Redaktion: Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362)
Dr.-Ing. *Jürgen Wede*, Redakteur (Telefon: 2870374)

Gestaltung: *Karen Wohlgemuth* (Telefon: 2870288)

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Erfüllungsort und Gerichtsstand: Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandities te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedícia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedícia a Dovoz Tlače, Posta 022 88547 Bratislava

SFR Jugoslawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C.K.P. i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. Bucureşti, Piaţa Scienteii, Bucureşti

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Abnahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. der Institution enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (S. 28) messen · steuern · regeln 1987 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

5. Fachtagung Installationstechnik

Vom 29. bis 30. September 1988 findet in Dresden die 5. Fachtagung „Installationstechnik — Elektroinstallation im Wohnungsbau, in der Altbaumodernisierung, im Gesellschafts- und Industriebau“ statt. Veranstalter dieser Tagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern ist der Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik, Fachunterausschuß 6.1. Installationssysteme.

Inhaltliche Schwerpunkte:

- Stand und Entwicklungstendenzen in der Installationstechnik im Wohnungs-, Gesellschafts- und Industriebau
- Weiterentwicklung und Vereinheitlichung der Installationssysteme in Abstimmung mit der bautechnischen Entwicklung
- Prüfmethoden in der Installationstechnik
- Anschluß- und Verbindungstechnik
- Stand und Entwicklungstendenzen bei Installationsgeräten, Kästen, Verteilungen und Einbaugeräten
- Stand und Entwicklungstendenzen von Leitungen und Kabeln
- Befestigungstechnik
- EDV-gestützte Projektierung und technologische Vorbereitung.

Teilnahmemeldungen sind schriftlich zu richten an:

Kammer der Technik
— Präsidium —
Fachverband Elektrotechnik
PSF 1315
Berlin
1086

Literaturkatalog 1987 Elektrotechnik/Elektronik/Regelungstechnik

Vom Leipziger Kommissions- und Großbuchhandel (LKG) wurde in Gemeinschaft mit den in der DDR dafür zuständigen Verlagen (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, VEB Verlag Technik Berlin, VEB Fachbuchverlag Leipzig, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, VEB Bibliographisches Institut Leipzig, VEB Enzyklopädie Leipzig, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. Leipzig, Verlag Tribüne Berlin, Militärverlag der DDR Berlin, Akademie-Verlag Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin) der o. g. Literaturkatalog herausgegeben, der über alle lieferbaren Titel dieser Fachgebiete informiert. Der Katalog ist in den Buchhandlungen der DDR, insbesondere in Spezialbuchhandlungen, kostenlos erhältlich. Dort können auch die angezeigten Bücher und Broschüren bezogen werden.

Kunststoff als Drucksensor

Durch die forcierte Entwicklung piezoelektrischer Folien ergeben sich neuartige Möglichkeiten zur Druckmessung. Sogenannte Piezofolien, sehr dünne (5 bis 100 µm) und elastische Kunststoff-Folien (Polyvinylidenfluorid), können nach künstlicher Polarisation als elektromechanische Wandler (piezoelektrischer Effekt) sowie als thermoelektrischer Wandler (pyroelektrischer Effekt) eingesetzt werden.
Zum Abgriff des Meßsignals (druck- bzw. kraftproportionale Ladung) werden die Folien mit einer Metallschicht von etwa 100 nm versehen. Kurze Ansprechzeiten und Dauerhaftigkeit des piezoelektrischen Effekts ermöglichen Meßfühler, die bei quasistatischen Meßaufgaben bis hin zur Registrierung hochfrequenter Druckschwankungen angewendet werden können.
Das Sensormaterial ist so flexibel und robust, daß es praktisch keine Einschränkungen hinsichtlich der Oberflächengeometrie des Meßobjektes gibt. Die Folie wird auf den Versuchskörper geklebt und erfordert an diesem keine baulichen Veränderungen. Da die Folien sehr dünn sind und relativ klein gehalten werden können, sind Feldmessungen in Strömungsfeldern, so z. B. an Flugzeugmodellen im Windkanal oder an Originalflugzeugen, mit guter örtlicher Auflösung möglich. Weitere Anwendungen finden sich in der Medizin zur unblutigen Messung des zeitabhängigen Blutdrucks, wozu der Sensor auf eine hautnahe Arterie aufgesetzt und die druckproportionale Dehnung des Blutgefäßes gemessen wird. Für die Zukunft wird eine zunehmende Verbreitung dieses Sensortyps erwartet.

Neue Labormeßgeräte aus Budapest

Vom Forschungsinstitut für Technische Physik der Ungarischen Akademie der Wissenschaften wurde eine Reihe hochpräziser Meßinstrumente entwickelt, so z. B. der vielseitig anwendbare Beleuchtungsstärkemesser im Taschenformat „Cosilux“ für Messung in Innenräumen und im Freien. Das Meßgerät mit Si-Fotodiode und 3 1/2stelliger LCD-Anzeige ermöglicht die Messung in den Meßbereichen 20 Lux, 200 Lux, 2 kLux, 20 kLux. Es kann den Meßwert laufend anzeigen oder auf Einzelmessung geschaltet werden, wobei der Meßwert etwa 10 s zur Anzeige gelangt.
Für die Messung von fotometrischen und radiometrischen Größen mit großer Genauigkeit wurde das Universalradiometer MFKI 234 entwickelt. Das Labormeßgerät hat Anschlußmöglichkeiten für 5 verschiedenartige Meßköpfe.
Zu weiteren Neuentwicklungen gehören ein Dämpfungsmeßgerät für Lichtleiterfasern, ein Brechungsmeßgerät für Lichtleiterfasern und ein optisches Leistungsmeßgerät.

(ADN-BWT 1764-6 b)

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 30 (1987) 11, S. 481—528